

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Daniel Tjäder Martins

**ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE ARRANJO DE UMA PEQUENA CENTRAL  
HIDRELÉTRICA: UM ESTUDO DE CASO DA CGH MARTINS**

Florianópolis

2015.

DANIEL TJÄDER MARTINS

**ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE ARRANJO DE UMA PEQUENA CENTRAL  
HIDRELÉTRICA: UM ESTUDO DE CASO DA CGH MARTINS**

Trabalho apresentado à disciplina de  
Trabalho de Conclusão de Curso II  
(ECV5511), com um dos requisitos  
para aprovação na mesma.

Orientadora: Profa. Patrícia Faria.

Florianópolis

2015.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Martins, Daniel Tjäder  
Estudo de Alternativas de Arranjo de uma Pequena  
Central Hidrelétrica : Um Estudo de Caso da CGH Martins /  
Daniel Tjäder Martins ; orientadora, Patrícia de Oliveira  
Faria - Florianópolis, SC, 2015.  
95 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.  
Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

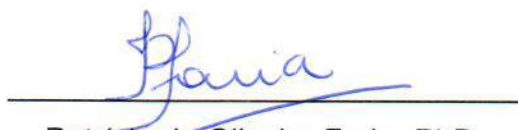
1. Engenharia Civil. 2. Energia Hidrelétrica. 3.  
Escolha de Arranjo. 4. Otimização. I. de Oliveira Faria,  
Patrícia. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

DANIEL TJADER MARTINS

**ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE ARRANJO DE UMA PEQUENA CENTRAL  
HIDRELÉTRICA: UM ESTUDO DE CASO DA CGH MARTINS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 17 de Novembro de 2015.



Patrícia de Oliveira Faria, PhD.  
Orientadora

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente e acima de tudo, agradeço a Deus, o Senhor de minha vida, que me dá a oportunidade de viver para Sua glória, me sustenta e mantém e me inspira a viver. A Ele seja toda honra e toda a glória.

Aos meus pais, Daniëlle de Lima Tjäder e Fabiano de Ludhi Palmieri Martins, que apesar de seus erros e falhas, me amaram e educaram com as melhores ferramentas que tinham em mãos e deram suas vidas para que hoje eu pudesse ser quem eu sou.

À minha irmã, que não só me ajudou não fazendo muito barulho durante as muitas noites que passei escrevendo este trabalho, mas também na amizade e no sustento em oração.

À minha excelentíssima noiva e, logo mais, esposa, pelo amor, conselho, consolo, encorajamento e por ser, sem dúvida, a melhor pessoa que eu conheço.

À professora Patrícia, por ter aceitado o desafio de me orientar neste projeto e por seus conselhos na durante a execução do mesmo.

Ao engenheiro Paulo Afonso Foes, por compartilhar um pouco de sua experiência profissional e sempre me estimular e forçar ao limite a fim de se obter o melhor resultado.

A toda equipe da Apuama Engenharia, pela vivência profissional oportunizada durante o período de estágio.

A todos os meus amigos, que de alguma forma me ajudaram durante a execução deste projeto, seja com uma palavra de conforto, encorajamento ou uma oração, meu muito obrigado!

## RESUMO

Diante dos numerosos desafios concernentes à geração energética, o estudo aprofundado das fontes de energia renovável e a otimização do processo de geração tem sido alvo de diversos trabalhos. No tocante ao Brasil, a energia hidrelétrica sempre foi a base da matriz energética do país, sendo imprescindível para o melhor aproveitamento dos potenciais hidrelétricos dos rios brasileiros o correto estudo das alternativas de arranjo, conforme proposto por ELETROBRÁS (2000) entre outros. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é reunir, a partir da bibliografia existente sobre o assunto, as diretrizes e cálculos utilizados para se entender e escolher o tipo de arranjo que propicie a maior geração de energia com o menor custo atrelado, apresentando uma aplicação para a CGH Martins. Após a elaboração da análise do índice custo-benefício, concluiu-se que, para este aproveitamento, utilizando-se os parâmetros de projeto praticados no mercado (taxa de desconto= 10%, tarifa de referência= R\$205,00 e vida útil do aproveitamento de 30 anos), se faz necessário o deslocamento do eixo do barramento para um trecho logo a jusante do eixo original, sendo o circuito hidráulico composto de um canal de adução de 1,5 metros de profundidade e 4 metros de largura, com 110 metros extensão, um túnel de adução em seção arcocretangular com raio de 3 metros e 1670 metros de extensão, uma chaminé de equilíbrio com 4 metros de diâmetro e 8 metros de altura terminando num conduto forçado metálico revestido de 2 metros de diâmetro com 255 metros de extensão. A casa de força é do tipo abrigada, contando com duas turbinas Francis com potência instalada total de 2,75 MW. A análise de viabilidade do aproveitamento apresentou um valor de 246,04 R\$/MWh ou um IBC de 0,88, indicando a inviabilidade da construção da CGH no tempo presente.

## **ABSTRACT**

Given the numerous challenges concerning energy generation, meticulous studies of renewable energy sources and optimizing the generation process have been the subjects of several papers. With regard to Brazil, waterpower energy has always been the basis of the country's energy matrix, being indispensable for better exploitation of waterpower potential of Brazil's rivers profound studies arrangement alternatives, as proposed by ELETROBRÁS (2000), among others. Thus, the objective of this paper is to gather, among the existing literature on the subject, the guidelines and parameters used to understand and choose the type of arrangement which leads to the highest power generation at the lowest pegged cost, with an application to CGH Martins as a study case. After cost-benefit ratio analysis, it was concluded that, given the economic and financial parameters common in the market (discount rate=10%, reference cost of energy=R\$205,00 and lifespan of 30 years), it's necessary to move a little downstream the dam axis of the original axis, the hydraulic circuit is composed by an intake channel depth of 1.5 meters and 2 meter wide, 110 meters long, one intake tunnel in arcetangular section with a diameter of 3 meters and 1670 meters in length, one standpipe 4 meters in diameter and 8 meters high, ending in a metal penstock coated with the diameter of 2 meters and 255 meters long. The powerhouse is sheltered, with two Francis turbines with total installed capacity of 2.75 MW. The CGH Martins feasibility analysis showed a value of R\$ 246,04 /MWh or a cost-benefit ratio of 0.88, indicating the undesirability of building the CGH Martins at present time.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema Básico Aproveitamento Hidrelétrico .....	21
Figura 2. Seção tipo barragem de terra do tipo homogênea. ....	22
Figura 3. Seção tipo barragem de terra do tipo zonada. ....	23
Figura 4. Seção tipo barragem de enrocamento com núcleo impermeável. ....	24
Figura 5. Seção tipo barragem de enrocamento com face de concreto. ....	24
Figura 6. Seção tipo barragem de concreto gravidade e com contraforte.....	25
Figura 7. Arranjo Compacto – PCH Meia Luiza. ....	26
Figura 8. Arranjo de Derivação – PCH Nova Rio Branco.....	27
Figura 9. Fluxograma de Implantação de uma PCH. ....	28
Figura 10. Fluxograma de Implantação de uma PCH. ....	30
Figura 11. Arranjo CGH Martins.....	67



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Critérios atuais de diferenciação CGH, PCH e UHE. ....	17
Tabela 2. Crescimento número de aproveitamentos. ....	18
Tabela 3. Critérios de diferenciação CGH, PCH e UHE. ....	32
Tabela 4. Série de Vazões Médias Mensais do Posto de Benedito Novo. ....	36
Tabela 5. Tempos de Retorno típicos. ....	39
Tabela 6. Critérios de Cálculo de Vazão Sanitária. ....	40
Tabela 7. Critérios de decisão do tipo de barragem. ....	48
Tabela 8 Valores de Coeficiente $Ka$ . ....	54
Tabela 9. Estações Fluviométricos utilizados. ....	56
Tabela 10. Dados de Temperatura Média Mensal e Anual (°C). ....	57
Tabela 11. Dados de Evaporação Média Mensal e Anual (mm). ....	57
Tabela 12. Dados de Umidade Relativa Média Mensal e Anual (%). ....	57
Tabela 13. Postos Pluviométricos. ....	58
Tabela 14. Precipitações Totais Médias na Região do Aproveitamento. ....	59
Tabela 15. Falhas nas séries históricas. ....	60
Tabela 16. Correlação dos postos fluviométricos. ....	60
Tabela 17. Preenchimento de Falhas. ....	61
Tabela 18. Média mensal da vazão – CGH Martins. ....	62
Tabela 19. Permanência – CGH Martins. ....	62
Tabela 20. Vazões Máximas Anuais - estação Benedito Novo. ....	63
Tabela 21. Vazões Máximas estação Benedito Novo e CGH Martins. ....	64
Tabela 22. Parâmetros Econômico-financeiros. ....	66
Tabela 23. Resumo Benefício Energético das Alternativas. ....	67
Tabela 24. Estudo da Potência Instalada – CGH Martins. ....	69
Tabela 25. IBC incremental – Túnel de Adução. ....	69
Tabela 26. IBC incremental – Conduto Forçado. ....	70
Tabela 27. Vazões Médias Mensais – Benedito Novo. ....	78
Tabela 28. Vazões Médias Mensais – Benedito Novo (CONTINUAÇÃO). ....	79
Tabela 29. Vazões Médias Mensais – Benedito Novo (CONTINUAÇÃO). ....	80
Tabela 30. Vazões Médias Mensais – CGH Martins. ....	80
Tabela 31. Vazões Médias Mensais – CGH Martins (CONTINUAÇÃO). ....	81
Tabela 32. Vazões Médias Mensais – CGH Martins (CONTINUAÇÃO). ....	82

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Matriz Energética Mundial .....	16
Gráfico 2. Matriz Energética do Brasil - 2014.....	17
Gráfico 3. Curva de Permanência Posto Arrozeira - 83675000. ....	38
Gráfico 4. Precipitação Média Mensal Região do Aproveitamento. ....	59
Gráfico 5. Curva chave estação Benedito Novo.....	61
Gráfico 6. Curva de Permanência CGH Martins. ....	62
Gráfico 7. Curva chave estação Benedito Novo.....	72

## LISTA DE EQUAÇÕES

( 1 ) Coeficiente de Compacidade.....	33
( 2 ) Fator de Forma .....	33
( 3 ) Tempo de Concentração -NRCS .....	34
( 4 ) Transferência de Vazões .....	36
( 5 ) Critério de Kimball.....	37
( 6 ) Média Aritmética .....	38
( 7 ) Desvio Padrão .....	38
( 8 ) Assimetria .....	39
( 9 ) Fórmula de Fuller.....	39
( 10 ) Fórmula de Geração de Energia.....	43
( 11 ) Índice Custo-Benefício.....	45
( 12 ) Fórmula Custo Total .....	46
( 13 ) Fator de Recuperação de Capital .....	46
( 14 ) Equação de Manning-Strickler .....	49
( 15 ) Fórmula de Submersão Mínima .....	49
( 16 ) Perda de Carga na Tomada D'água .....	50
( 17 ) Fórmula de Cálculo do $K_g$ .....	50
( 18 ) Fórmula de Darcy-Weisbach – Túnel de Adução.....	50
( 19 ) Expressão de Colebrook-White .....	51
( 20 ) Critério da Constante de Aceleração do Escoamento no Conduto Forçado ..	52
( 21 ) Condição de Thoma.....	52
( 22 ) Fórmula de Darcy-Weisback – Conduto Forçado .....	53
( 23 ) Fórmula de Bondshu.....	53
( 24 ) Fórmula de Scobey.....	53
( 25 ) Transferência de Vazões – CGH Martins .....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional das Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APP	Área de Preservação Permanente
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CCR	Concreto Compactado a Rolo
CCV	Concreto Convencional
CIRAM	Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina
ELETROBRÁS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural
HDC	Hydraulic Design Criteria
IBC	Índice Benefício - Custo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MCH	Mini ou Micro Central Hidrelétrica
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira
NRCS	Natural Resources Conservation Service
OPE	Orçamento Padrão Eletrobrás
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
SCS	Soil Conservation Service
SDS –SC	Secretária do Estado de Santa Catarina de Desenvolvimento Sustentável
UHE	Usina Hidrelétrica

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1. JUSTIFICATIVA .....	18
1.2. OBJETIVOS .....	18
1.2.1. Objetivo geral.....	18
1.2.2. Objetivos específicos .....	18
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>20</b>
2.1. APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO.....	20
2.2. TIPOS DE BARRAGEM .....	21
2.2.1. Barragem de Terra.....	22
2.2.2. Barragem de Enrocamento .....	23
2.2.3. Barragem de Concreto.....	24
2.3. TIPOS DE ARRANJO.....	25
2.3.1. Arranjo Compacto .....	25
2.3.2. Arranjo de Derivação .....	26
2.4. IMPLANTAÇÃO DE UMA PCH .....	27
2.5. ESTUDOS BÁSICOS .....	31
2.5.1. Estudos Hidrológicos .....	32
2.5.2. Estudos Topográficos e Geológicos .....	41
2.5.3. Estudos Energéticos e Econômicos.....	43
2.6. OTIMIZAÇÃO DO ARRANJO .....	47
2.6.1. Eixo do Barramento e Localização Casa de Força .....	47
2.6.2. Tipo e Altura da Barragem.....	47
2.6.3. Dimensionamento das Estruturas .....	48
<b>3. ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>55</b>
3.1. DESCRIÇÃO DO APROVEITAMENTO.....	55
3.2. BACIA HIDROGRÁFICA .....	55
3.3. FORMA DA BACIA .....	55

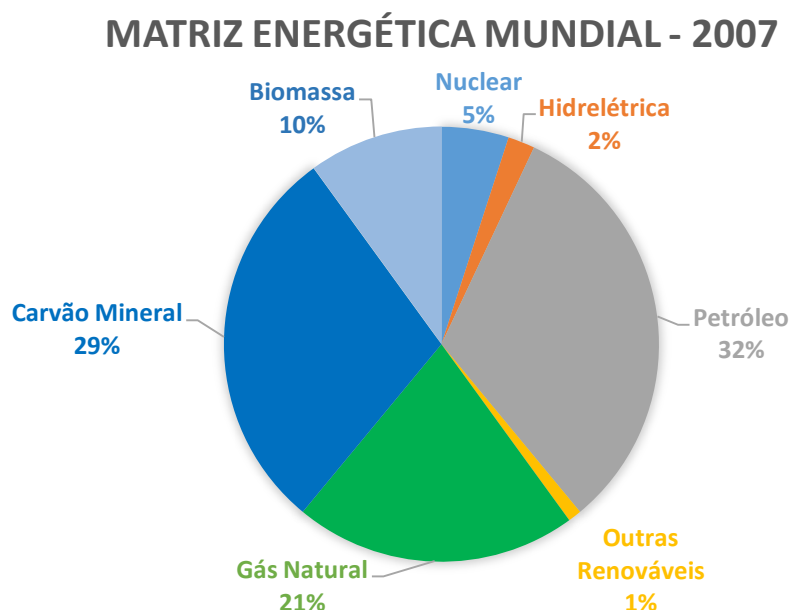
3.3.1.	Coeficiente de Compacidade $K_c$ .....	56
3.3.2.	Índice de Conformação ou Fator de Forma $K_f$ .....	56
3.4.	DADOS LEVANTADOS .....	56
3.4.1.	Cartográficos.....	56
3.4.2.	Hidrológicos .....	56
3.4.3.	Geológico-Geotécnicos.....	56
3.5.	ESTUDOS HIDROMETEOROLÓGICOS E FISIOGRÁFICOS .....	57
3.5.1.	Caracterização Climatológica .....	57
3.5.2.	Estudos Fluviométricos.....	59
3.6.	ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS.....	64
3.6.1.	Geologia Regional .....	64
3.6.2.	Aspectos Geológicos-Geotécnicos Locais.....	65
3.6.3.	Geomorfologia Local.....	65
3.7.	ESTUDOS DAS ALTERNATIVAS DE APROVEITAMENTO .....	65
3.7.1.	Parâmetros Econômico-financeiros .....	65
3.7.2.	Alternativa Proposta Em Inventário.....	66
3.7.3.	Localização Eixo do Barramento e Casa de Força .....	67
3.7.4.	Tipo de Barragem .....	68
3.7.5.	Altura da Barragem.....	69
3.7.6.	Potência Instalada .....	69
3.7.7.	Túnel de Adução.....	69
3.7.8.	Conduto Forçado .....	70
3.7.9.	Chaminé de Equilíbrio.....	70
3.8.	ARRANJO ESCOLHIDO .....	71
4.	<b>VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA.....</b>	<b>72</b>
5.	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>73</b>
5.1.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	73
6.	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>75</b>

<b>APÊNDICE A – VAZÕES MÉDIAS MENSAIS .....</b>	<b>78</b>
<b>APÊNDICE B – OPE CGH MARTINS .....</b>	<b>83</b>
<b>APÊNDICE C – DESENHOS DO PROJETO.....</b>	<b>93</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Tema recorrente de congressos e reuniões, desde estudantes a governantes, é a matriz energética global e seus, cada vez mais destacados, problemas e desafios, tendo em vista a crescente ênfase em sustentabilidade, preservação ambiental e o aparente esgotamento de combustíveis fósseis. O gráfico 1 ilustra a matriz energética mundial, mostrando sua dependência de combustíveis fósseis, fator que aumenta a preocupação de especialistas na área.

Gráfico 1. Matriz Energética Mundial

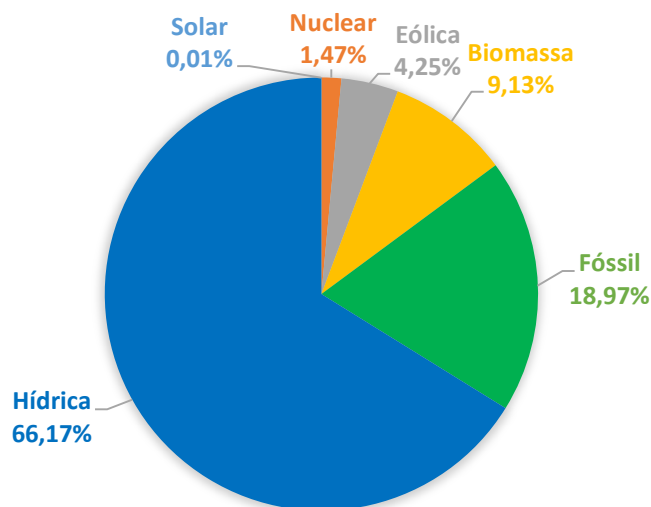


Fonte: International Energy Agency – World Energy Outlook 2013.

Neste ínterim, a busca por fontes de energia renováveis e com baixo impacto ambiental tem sido incentivada e exaustivamente pesquisada. O Brasil, nesta área, tem se destacado, muito devido às características do país (enorme potencial hídrico, por exemplo), com o governo tendo importante papel juntamente com a iniciativa privada ao proporcionar incentivos fiscais a empreendimentos. Como mostra disto, a matriz energética elétrica brasileira, mostrada no gráfico 2, apresenta como sendo a principal fonte energética a hidrelétrica, com participação crescente das fontes eólica e fotovoltaica.



Gráfico 2. Matriz Energética do Brasil - 2014

**MATRIZ ENERGIA ELÉTRICA BRASIL - 2014**

Fonte: ANEEL, 2014.

A geração de energia elétrica por Usinas Hidrelétricas (UHE), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e, mais recentemente, Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH), tem sido a principal fonte de energia elétrica brasileira. Dessa forma, o mapeamento e a otimização das unidades geradoras de energia elétrica devem ser devidamente estudados visando um aproveitamento ótimo do potencial de geração dos rios e o menor impacto ambiental possível.

Atualmente, a diferenciação de UHE, PCH e CGH é feita pelos critérios mostrados na tabela 1, determinados pela ANEEL na Lei 13.097 de 19 de janeiro de 2015. Até esta data, os limites para caracterização eram diferentes, sendo uma CGH aquela que possui capacidade instalada menor que 1 MW, PCH, maior que 1 MW e menor que 30 MW, e UHE acima de 30 MW.

Tabela 1. Critérios atuais de diferenciação CGH, PCH e UHE.

Tipo	Potência (MW)
CGH	< 3
PCH	3 < e > 50
UHE	> 50

Fonte: ANEEL.

A tabela 2 mostra o crescimento do número de aproveitamentos nos rios brasileiros, de 2003 até 2015, segundo site atualizado da ANEEL.

Tabela 2. Crescimento número de aproveitamentos.

Tipo	2003	2008	2015
CGH	148	227	424
PCH	230	320	475
UHE	139	159	201

Fonte: Atlas de Energia do Brasil, 2ª e 3ª edição e ANEEL, 2015.

Dos três tipos de aproveitamento hidrelétrico, o que mais tem recebido incentivos do governo e maior atenção de investidores privados tem sido as pequenas centrais hidrelétricas, tendo em vista o seu reduzido impacto ambiental absoluto, se comparado a uma UHE, e uma maior capacidade de geração, se comparado a uma CGH.

De acordo com ELETROBRÁS (2000), o arranjo de uma PCH “é condicionado, basicamente, pelos aspectos topográficos, geológicos e geotécnicos do sítio”, destacando-se também os condicionantes ambientais do local. SCHREIBER (1977) coloca ainda que o projeto de um aproveitamento elétrico “abrange vários ramos da engenharia como Hidrologia, Hidráulica, Geologia Aplicada, Mecânica dos Solos e das Rochas, Estática, Mecânica, Eletricidade, Arquitetura, etc.”, ressaltando a importância de uma equipe de projeto bem qualificada para a execução do mesmo.

### 1.1. JUSTIFICATIVA

Cada vez mais será de maior importância um aproveitamento ótimo de cada recurso energético disponível, tendo em vista o já citado cenário de mudança na mentalidade mundial quanto ao uso de combustíveis fósseis e a busca de fontes de energia renováveis. Dessa forma, é imprescindível que os futuros aproveitamentos hidrelétricos sejam projetados buscando a máxima potência gerada com o menor custo possível.

Assim, um estudo adequado das alternativas de arranjo de um aproveitamento hidrelétrico propiciará essa geração ótima com menor custo.

### 1.2. OBJETIVOS

#### 1.2.1. Objetivo geral

Estudar os fatores de decisão para a escolha do melhor arranjo para um aproveitamento hidrelétrico, reunindo as diretrizes propostas na bibliografia existente.

#### 1.2.2. Objetivos específicos

- a) Estabelecer diretrizes de decisão para arranjos de futuros aproveitamentos;

- b) Propor alternativas de arranjo para a CGH Martins;
- c) Atualizar os estudos hidrológicos do rio Afluyente;
- d) Estudar o arranjo proposto no Estudo de Inventário do Rio Afluyente para este aproveitamento;
- e) Estudar a viabilidade da CGH Martins;

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, busca-se, de forma geral e sucinta, definir todos os conceitos que serão aplicados no estudo de caso da CGH Martins, trazendo referencial teórico de autores e obras consagradas no que diz respeito a aproveitamentos hidrelétricos no Brasil e no mundo e critérios de escolha de arranjos de aproveitamentos e arranjo ótimo.

### 2.1. APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO

Há milênios o homem tem se utilizado do barramento de cursos d'água para inúmeros fins. Jansen e USBR (1980) apud Pereira (2015) indicam que barragens tem sido utilizadas para irrigação por pelo menos 5 mil anos, como atestam as ruínas na Mesopotâmia, Egito, Índia, Pérsia e no Extremo Oriente.

Porém, foi somente nos séculos XVIII e XIX, com o surgimento de tecnologias como a máquina a vapor, o motor, o dínamo, a lâmpada e a turbina hidráulica, que se tornou possível transformar a energia mecânica gerada pelo curso d'água em energia elétrica.

Atualmente, a geração de energia elétrica é vastamente utilizada pelo mundo por ser uma fonte de energia limpa e renovável e com alto grau de rentabilidade por parte dos investidores.

Como já citado na Introdução deste trabalho, atualmente os aproveitamentos hidrelétricos são divididos no Brasil em três categorias: Usina Hidrelétrica (UHE), Pequena Central Hidrelétrica (PCH) e Central Geradora Hidrelétrica (CGH), ou ainda Mini ou Micro Central Hidrelétrica (MCH), com base na potência instalada na usina.

Tem-se visto, especialmente no Brasil, um rápido crescimento no número de PCHs e CGHs no início do século XXI devido aos menores impactos ambientais destes tipos de empreendimentos e por ser uma fonte renovável de energia, mas, acima de tudo, devido aos incentivos fiscais que o governo brasileiro tem dado. A lei nº 9.427, DE 26 DE DEZEMBRO DE 1996, no artigo 26º, estabelece, no parágrafo 1º, que:

§ 1º Para o aproveitamento referido no inciso I do caput, os empreendimentos hidroelétricos com potência igual ou inferior a 1.000 kW e aqueles com base em fontes solar, eólica, biomassa e cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, cuja potência instalada seja menor ou igual a 30.000 kW, a ANEEL estipulará percentual de redução não inferior a cinquenta por cento a ser aplicado às tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, incidindo na produção e no consumo da energia comercializada pelos aproveitamentos.

De forma geral, Pereira (2015) apresenta as estruturas básicas de um aproveitamento hidrelétrico:

- Uma barragem, que fecha o rio para criar a carga hidráulica;
- Um vertedouro, para extravasar as vazões que excedem as que são turbinadas;
- Uma estrutura de tomada d'água, um conduto forçado e uma casa de força (que abriga o conjunto turbina-gerador);
- Um canal de fuga, pelo qual se restitui a água turbinada ao leito do natural do rio, constituindo o circuito hidráulico de adução e geração.

A figura 1 a seguir mostra um desenho esquemático de um arranjo básico de um aproveitamento hidrelétrico.

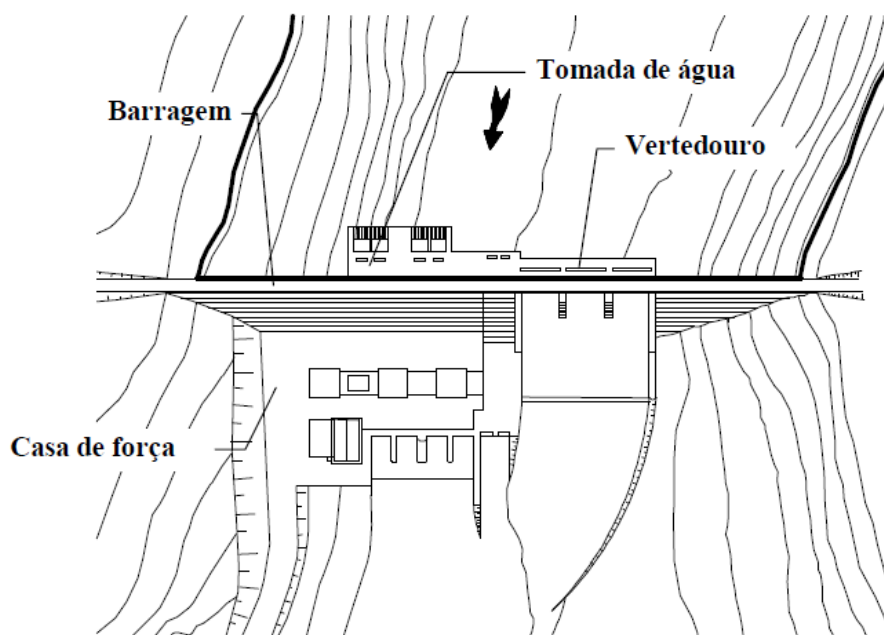


Figura 1. Esquema Básico Aproveitamento Hidrelétrico  
Fonte: Assis, 2006.

## 2.2. TIPOS DE BARRAGEM

Segundo Caputo (1987), barragens são “estruturas construídas em vales destinadas a fechá-lo transversalmente, proporcionando assim um represamento de água”.

Pereira (2015) diz que os tipos de barragem são variáveis e influenciados por condicionantes locais, como a disponibilidade ou não de dado material. Porém, os três tipos de barragens mais comuns, que inclusive são apresentados como os três tipos gerais de barragem por ELETROBRÁS (2003), são:

- Barragem de terra com seção homogênea;

- Barragem de enrocamento com núcleo impermeável e face impermeável (concreto ou concreto asfáltico); e
- Barragem de concreto (CCV, CCR ou em arco).

### 2.2.1. Barragem de Terra

ELETROBRÁS (2000) dita que este tipo de barragem

É apropriado para locais onde a topografia se apresente suavemente ondulada, nos vales pouco encaixados, e onde existam áreas de empréstimo de materiais argilosos/arenosos suficientes para a construção do maciço compactado.

As barragens de terra podem ser divididas em dois tipos de acordo com a seção transversal da barragem: barragem homogênea e barragem zonada.

As barragens homogêneas são assim chamadas por serem executadas predominantemente em um tipo de solo compactado. Porém, é importante destacar que isso não significa que a barragem é executada com um único material, ou que toda a barragem possui o mesmo grau de compactação e estanqueidade. A existência de mais de um material deve-se à necessidade de drenagem interna e de proteção externa dos taludes.

A figura 2 a seguir mostra uma seção típica de uma barragem de seção homogênea.

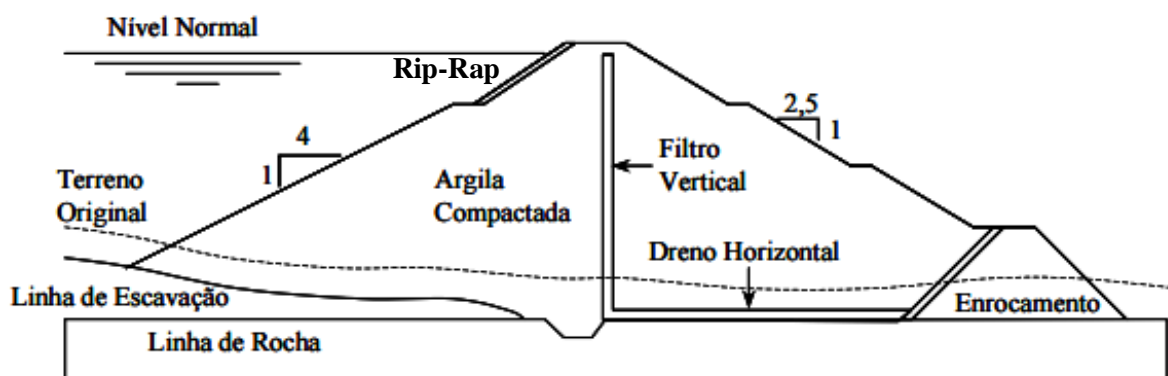


Figura 2. Seção tipo barragem de terra do tipo homogênea.

Fonte: Assis, 2006.

Além do núcleo de argila compactada que traz a característica impermeável à barragem, a mesma conta com filtro vertical e o dreno horizontal, normalmente executados com material arenoso; o enrocamento no pé do talude de jusante, a fim de se evitar o carreamento do solo no pé da barragem devido ao fluxo interno de água; e a proteção de talude de montante, na área que sofre a ação da variação do nível do reservatório, podendo ser rip-rap (blocos de rocha) ou solo cimento

As barragens zonadas são assim chamadas devido ao fato de não possuírem material predominante em sua composição. A seção transversal ilustrada na figura 3 mostra as diversas zonas deste tipo de barragem, podendo variar de acordo com o material disponível e grau de compactação desejado.

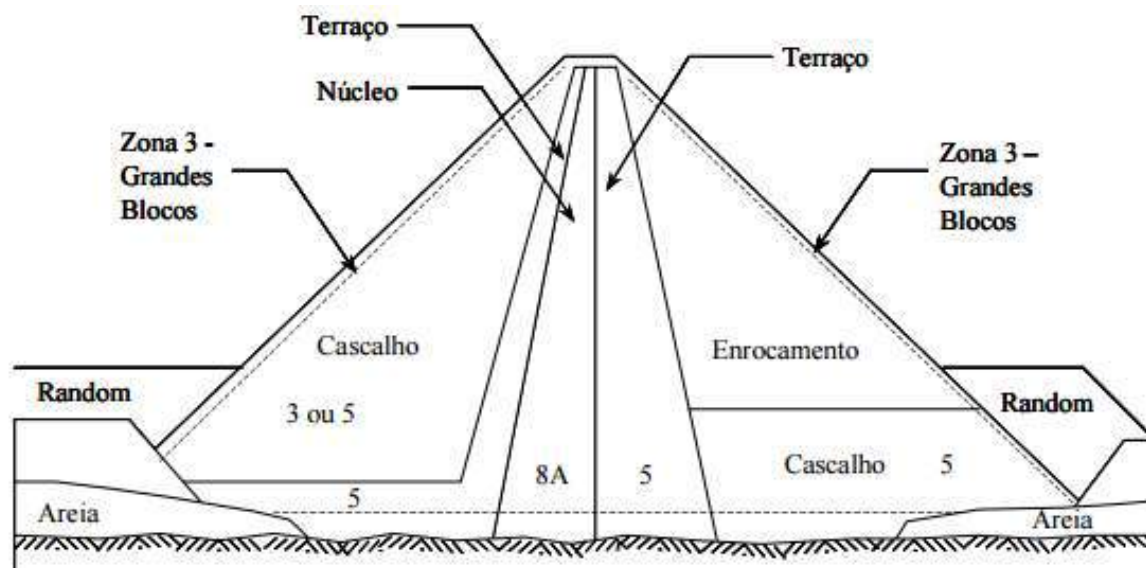


Figura 3. Seção tipo barragem de terra do tipo zonada.  
Fonte: Assis, 2006.

### 2.2.2. Barragem de Enrocamento

A barragem é do tipo enrocamento quando há predominância de material rochoso em sua constituição. Em geral, existem dois tipos de barragem de enrocamento: com membrana externa impermeável (mais comumente concreto, asfalto) e com núcleo interno impermeável.

As barragens de enrocamento com núcleo impermeável, normalmente argila compactada, são indicadas quando no local da obra há disponibilidade de material rochoso, ou de uma pedreira próxima ou resultado de escavação, e de material que possa ser compactado, e.g. argila, para o núcleo impermeável. Há de se destacar a necessidade de transições suaves entre a argila compactada e o enrocamento dos taludes a fim de “proporcionar uma compatibilização melhor de deformações entre o núcleo, as transições e o enrocamento dos espaldares” (PEREIRA, 2015).

A figura 4 ilustra uma seção transversal típica de uma barragem de enrocamento com núcleo impermeável.

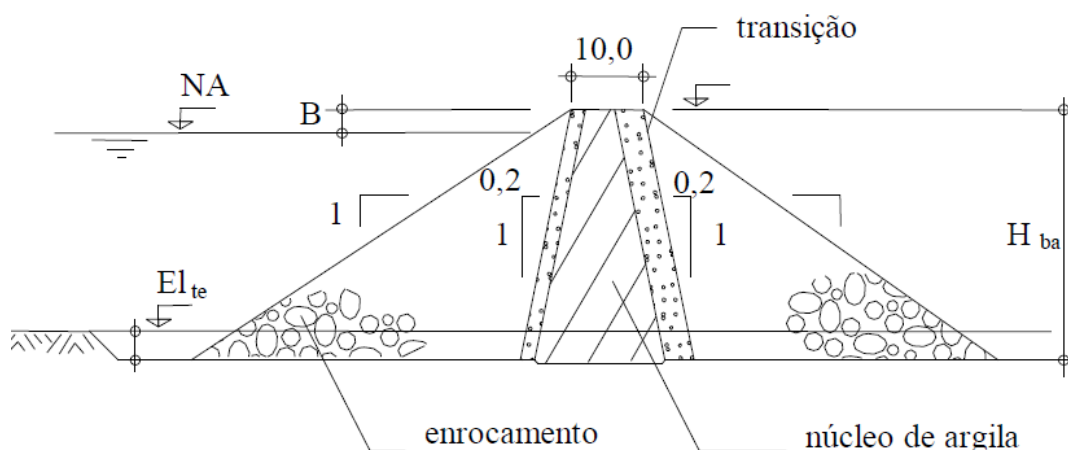


Figura 4. Seção tipo barragem de enrocamento com núcleo impermeável.  
Fonte: Assis, 2006.

A barragem de enrocamento com face de concreto é a escolha natural para locais onde não existe solo apropriado para se executar o núcleo impermeável (PEREIRA, 2015). Muitas vezes, a opção por este tipo de barragem se mostra mais barata do que as demais, por existir uma maior liberdade na sequência de construção e o custo da laje de concreto ser, muitas vezes, menor do que o custo do núcleo de terra e dos filtros, entre outros motivos.

A figura 5 ilustra uma seção típica de uma barragem de enrocamento com face de concreto.

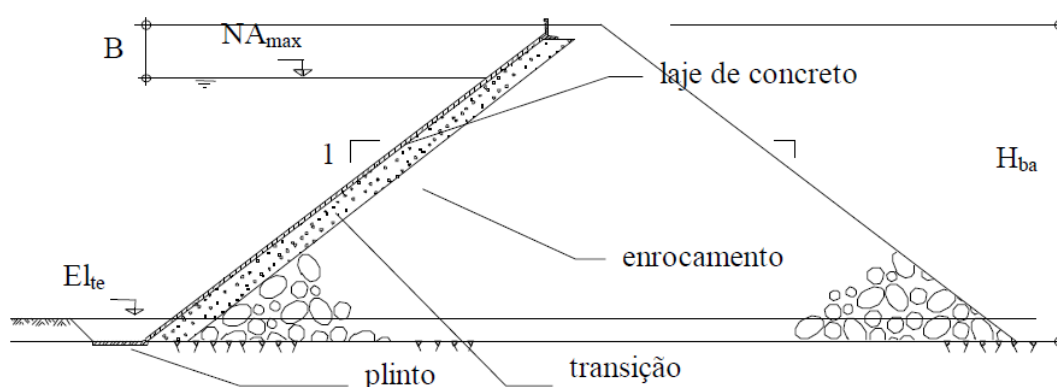


Figura 5. Seção tipo barragem de enrocamento com face de concreto.  
Fonte: Assis, 2006.

### 2.2.3. Barragem de Concreto

As barragens de concreto podem ser divididas em três grupos: gravidade, arco e contraforte. Barragens de gravidade dependem inteiramente de seu peso próprio para resistir aos esforços do reservatório, geralmente sendo construídas com concreto convencional (CCV) ou concreto compactado a rolo (CCR). As barragens em arco são indicadas para vales estreitos e demandam uma menor quantidade de concreto em



relação às barragens de gravidade, pois a estrutura em arco transmite o esforço da água para as paredes do vale no qual a barragem está encaixada. As barragens de concreto em contraforte, por sua vez, dependem de estruturas verticais para sua sustentação.

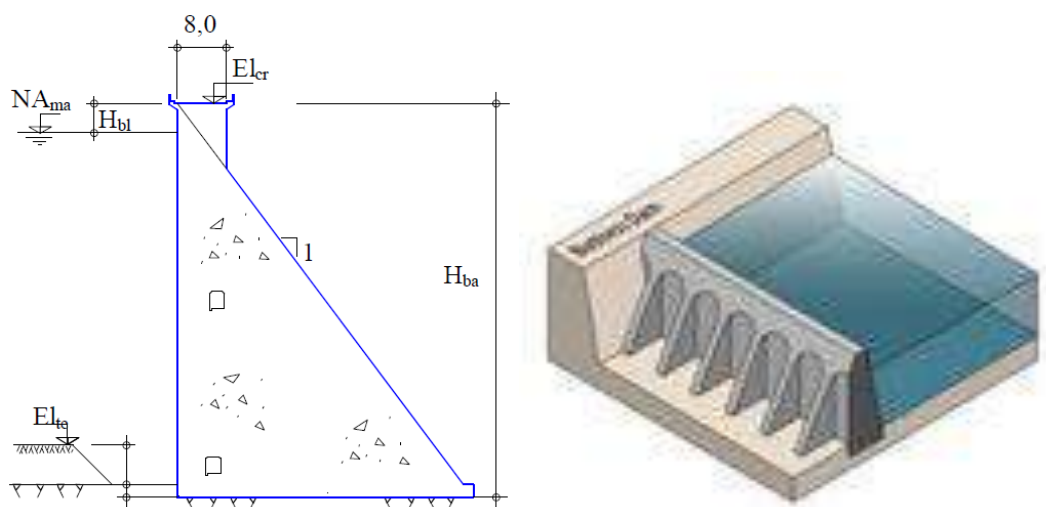


Figura 6. Seção tipo barragem de concreto gravidade e com contraforte.  
Fonte: Assis, 2006.

## 2.3. TIPOS DE ARRANJO

O arranjo das estruturas de um aproveitamento hidrelétrico varia em razão das condições topográficas e geológico-geotécnicas do seu local de implantação. Existem dois tipos gerais de arranjo: arranjos compactos e arranjos com derivação.

### 2.3.1. Arranjo Compacto

Arranjos compactos são caracterizados pela estrutura de tomada d'água/casa de força e do vertedouro serem incorporadas à estrutura de barramento. Arranjos compactos são indicados para locais onde não existe uma queda natural localizada, ou seja, o desnível necessário para a geração de energia é criado pelo barramento.

A figura 7 ilustra um exemplo de arranjo compacto.



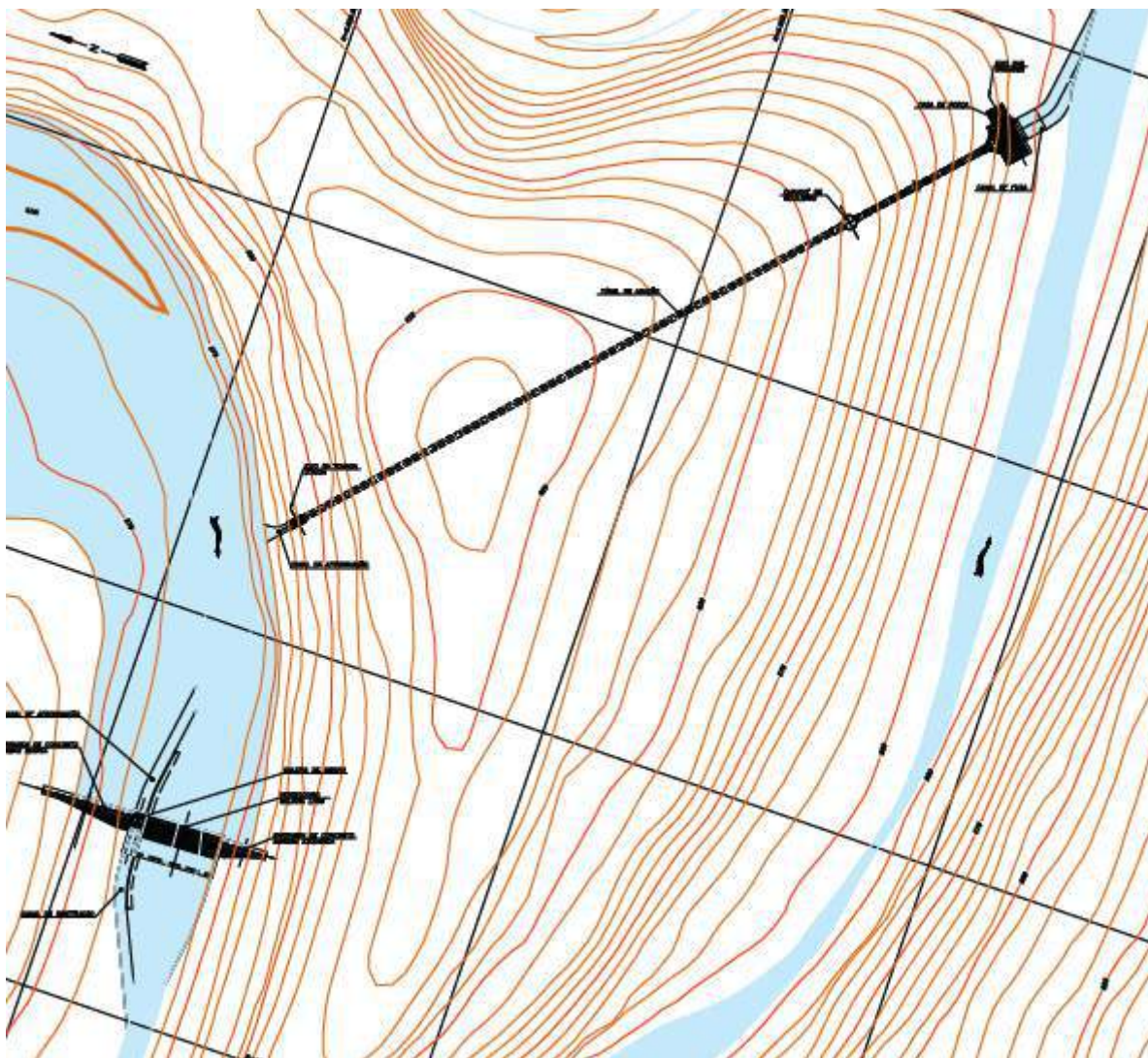


Figura 8. Arranjo de Derivação – PCH Nova Rio Branco.  
Fonte: Inventário Hidrelétrico Rio da Prata, 2010.

O circuito hidráulico de adução, em uma das margens, é composto por dois trechos, sendo um de baixa pressão e outro de alta pressão. O trecho de baixa pressão é constituído por canal ou conduto, enquanto que o trecho de alta pressão é constituído por condutos forçados.

#### 2.4. IMPLANTAÇÃO DE UMA PCH

O fluxograma mostrado na figura 9 dá os passos a serem seguidos para a implantação de uma pequena central hidrelétrica, desde a identificação do potencial hidrelétrico, até a operação da PCH.

# FLUXOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DE UMA PCH

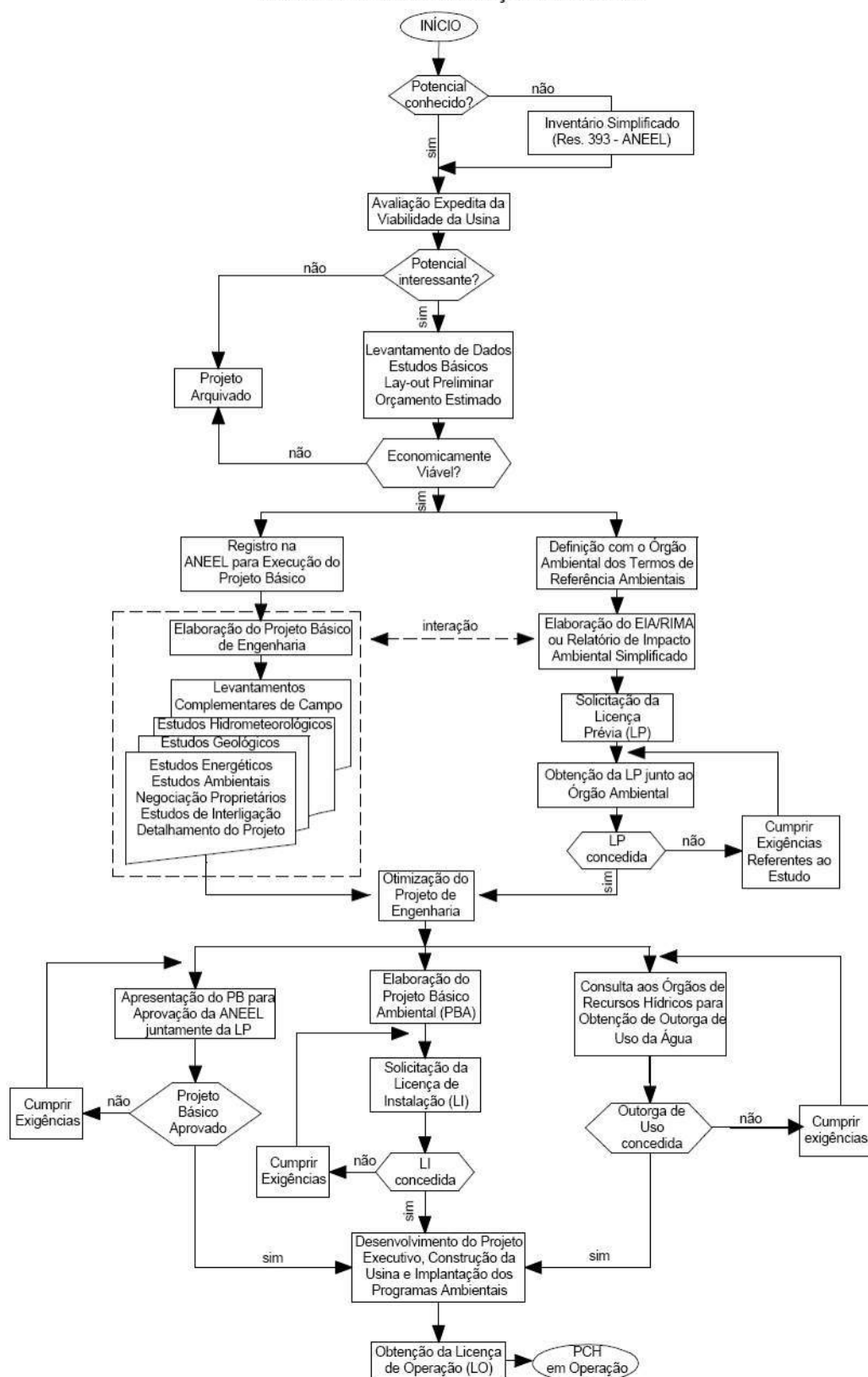


Figura 9. Fluxograma de Implantação de uma PCH.  
Fonte: ELETROBRÁS, 2000.

De forma geral, as etapas até a PCH estar em operação são: Estudo de Inventário, Projeto Básico, Licenças Ambientais e Projeto Executivo.

Os Estudos de Inventário são os primeiros estudos a serem realizados em uma bacia hidrográfica. Eles caracterizam o potencial da bacia e identificam os aproveitamentos hidrelétricos considerados ótimos a serem implantados, criando um desenho do perfil longitudinal do rio com a localização e níveis de operação de cada aproveitamento. Este desenho é chamado de divisão de quedas do rio.

A Resolução Nº 393 de 4 de Dezembro de 1998 da ANEEL estabelece “os procedimentos gerais para registro e aprovação dos estudos de inventário hidrelétrico de bacias hidrográficas” (ANEEL, 1998). A resolução estabelece que a ANEEL é responsável pelo aceite ou não dos mesmos, propondo melhorias e mudanças quando necessário, buscando-se sempre o aproveitamento ótimo do potencial do trecho do rio estudado. Os Estudos de Inventários aceitos pela ANEEL ficam disponíveis no Centro de Documentação – CEDOC da ANEEL, localizado em Brasília, e são públicos, podendo ser obtidos mediante envio de mídias DVDs para a gravação dos arquivos.

A partir de consulta do estudo de inventário, parte-se para o Projeto Básico do aproveitamento de interesse, que consiste de estudos mais aprofundados do aproveitamento, detalhando e revisando os estudos realizados na etapa de estudo de inventário. Os estudos necessários para o Projeto Básico são expostos no fluxograma da figura 10.



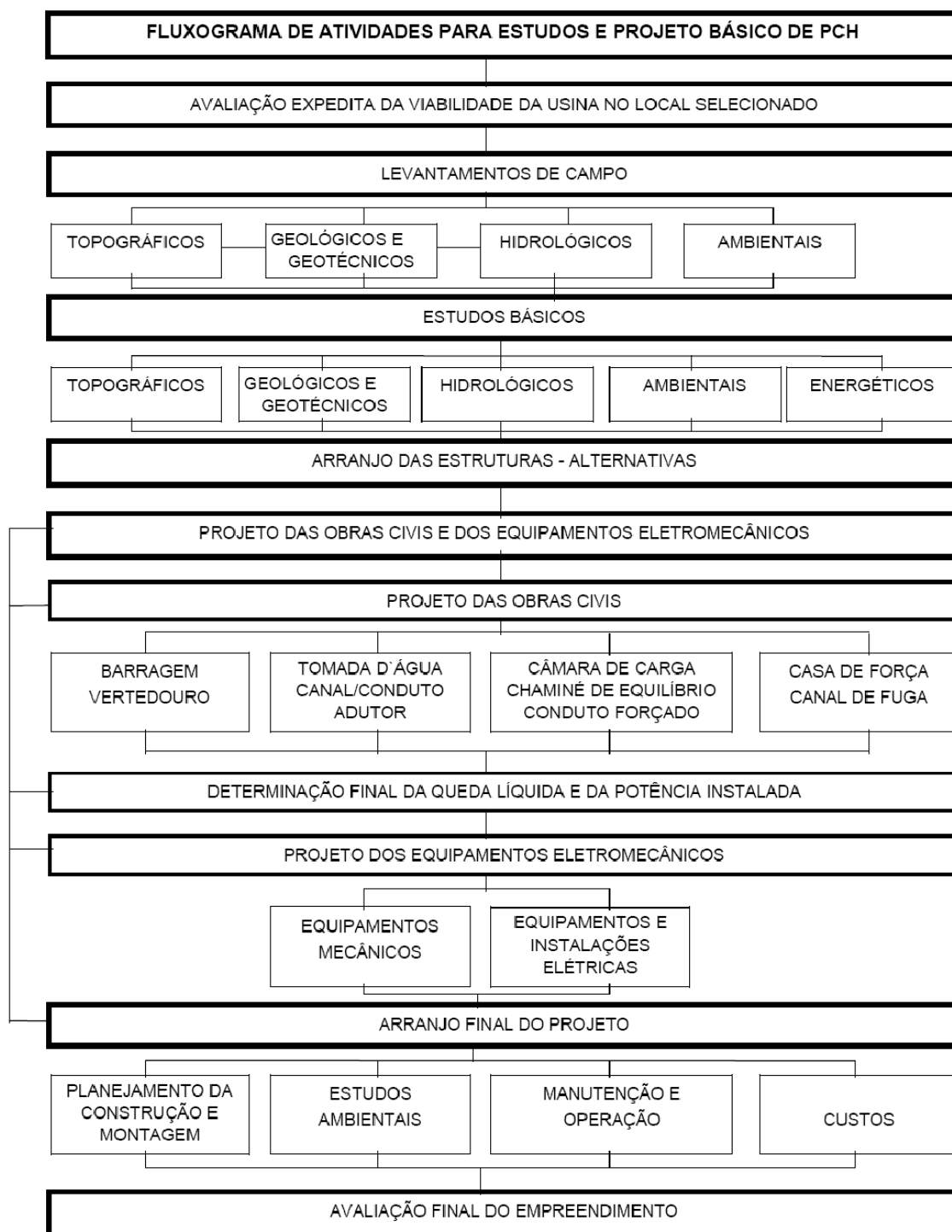


Figura 10. Fluxograma de Implantação de uma PCH.  
Fonte: ELETROBRÁS, 2000.

A Resolução Normativa Nº 343, de 9 de Dezembro de 2008 da ANEEL, estabelece “procedimentos para registro, elaboração, aceite, análise, seleção e aprovação de projeto básico e para autorização de aproveitamento de potencial de energia hidráulica com características de Pequena Central Hidrelétrica – PCH” (ANEEL, 2008). Dessa forma, cabe ao interessado no aproveitamento registrar o Projeto Básico e obter o aceite do mesmo por parte da ANEEL.

As Licenças Ambientais são três: Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação, e devem ser obtidas junto aos órgãos ambientais estaduais, em caso de rios estaduais, e/ou federais, em caso de rios federais. A Licença Prévia deve ser obtida concomitante com a elaboração do Projeto Básico, atestando a viabilidade do aproveitamento; a Licença de Instalação, assim que o Projeto Básico for aceito e a outorga do uso d'água for aprovada pelo órgão de recursos hídricos responsável (e.g. ANA), que permite o início das obras da PCH; e a Licença de Operação deve ser obtida em fase final de construção, a fim de regularizar a geração do aproveitamento.

O Projeto Executivo da PCH é executado juntamente com a realização das obras, tratando de todas as fases do desvio do rio, dos projetos de escavação e tratamento das fundações, bem como dos projetos de detalhes de todas as estruturas definitivas do empreendimento.

Este trabalho está focado na fase de estudo de alternativas para o aproveitamento, dentro do estudo de Projeto Básico. Para tanto, os estudos básicos são necessários, pois a partir dos resultados destes estudos, será possível entender as características do aproveitamento e definir o melhor tipo de arranjo e a localização otimizada das estruturas.

## 2.5. ESTUDOS BÁSICOS

Nesta seção serão apresentados os estudos básicos que devem ser realizados a fim de se atestar o potencial hidrelétrico do local selecionado e indicar qual a melhor localização para cada estrutura. Eles são divididos em:

- Hidrológicos: consistem no estudo fisiográficos da bacia, estudos climáticos e estudos de vazões (médias mensais, máximas e mínimas), que propiciarão dados importantes para se estimar o potencial a ser instalado.
- Topográficos – Geológicos: o levantamento topográfico detalhado dos locais de interesse, assim como um plano de sondagens abrangente dará luz ao local onde a queda é melhor aproveitada assim como as soluções necessárias para o tratamento das fundações.
- Energéticos – Financeiros: simulações energéticas, a escolha da potência instalada em relação aos custos, a simulação das tarifas e um levantamento geral dos custos mostrará a viabilidade econômica do aproveitamento.

## 2.5.1. Estudos Hidrológicos

### 2.5.1.1. Caracterização Fisiográfica da Bacia

Segundo ELETROBRÁS (2000), os aspectos fisiográficos da bacia “auxiliam na interpretação dos resultados dos estudos hidrológicos e permitem estabelecer relações e comparações com outras bacias conhecidas”. O autor ressalta ainda, juntamente com Pereira (2015), a necessidade do detalhamento das características fisiográficas da bacia a fim de estabelecer o conceito de regiões hidrologicamente homogêneas, o que aumenta a probabilidade dos dados obtidos para a série de vazões médias mensais ser coerente com a realidade.

A seguir, são detalhados aqueles que são as principais características fisiográficas de uma bacia.

#### Bacia Hidrográfica e Área de Drenagem

Dentro da literatura existe uma grande quantidade de definições de bacia hidrográfica, sub-bacia e microbacia, como relatado por Teodoro et al (2007). Porém, atendo-se a um conceito bem aceito, temos que, de acordo com Tucci (1997):

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. A bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório.

Dessa forma, área de drenagem é a área da bacia hidrográfica para um determinado exutório, delimitado pelos divisores de água naturais ou artificiais. As bacias hidrográficas, segundo Faustino (1996), podem ainda ser divididas de acordo com sua área de drenagem, conforme tabela 3.

Tabela 3. Critérios de diferenciação CGH, PCH e UHE.

	Área de Drenagem (Km <sup>2</sup> )
Microbacias	< 100
Sub-bacia	100 < e > 700
Bacia Hidrográfica	< 700

Fonte: Faustino, 1996.

#### Coeficiente de Compacidade

O coeficiente de compacidade  $K_c$  busca comparar a forma da bacia comparando-a com uma circunferência fazendo a relação do perímetro da bacia e a uma circunferência de mesma área da bacia. A seguinte fórmula é utilizada:



$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Onde:

P      perímetro da bacia, em Km.

A      área de drenagem da bacia, em Km².

O índice de compacidade  $K_c$  é um fator adimensional e estima a tendência de uma bacia receber grandes enchentes. De forma geral, quanto mais próximo da unidade, mais semelhante a uma circunferência é a forma da bacia e maior é a tendência da mesma receber grandes enchentes (MATTOS; VILELLA, 1975).

#### Índice de Conformação ou Fator de Forma $K_f$

O fator de forma  $K_f$  é também um fator que busca comparar a forma da bacia com uma figura geométrica, desta vez, porém, com um quadrado. A seguinte fórmula expressa o fator:

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

Onde:

A      área de drenagem da bacia, em Km².

L      comprimento da bacia, em Km.

Um fator de forma baixo indica que a bacia é mais suscetível a grandes enchentes, enquanto que fatores de forma altos indicam uma maior tendência para este fenômeno. Isso se deve ao fato de que em uma bacia com fator de forma baixo, ou seja, longa e estreita, a probabilidade de chuvas intensas ao longo de toda a área de drenagem é pequena. Enquanto que em uma bacia com fator de forma alto, curta e larga, esta probabilidade é maior, fazendo com que o hidrograma de cheia seja curto e com um pico de vazão alto.

#### Tempo de Concentração ( $t_c$ )

Araújo et al (2011) diz que tempo de concentração é “o tempo necessário para que toda a área da bacia contribua para o escoamento superficial num determinado ponto de controle”, e Pereira (2015) complementa, dizendo que “é o tempo que uma gota que se precipita no ponto mais distante da seção considerada de uma bacia leva para atingir esta seção”.

Inúmeras fórmulas teóricas e empíricas já foram propostas na literatura, entre as quais: Ventura, Ven Te Chow, Dodge e Temez, para citar algumas. Entretanto, Eletrobrás

(2000) e Pereira (2015) recomendam o uso da fórmula proposta pelo Natural Resources Conservation Service (NRCS, antigo Soil Conservation Service), mostrada a seguir.

$$t_c = 57 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (3)$$

Onde:

$t_c$  tempo de concentração, em min;

$L$  comprimento da bacia, em Km;

$H$  diferença entre as cotas do ponto mais afastado e do considerado, em m.

#### 2.5.1.2. Hidrometeorologia

A classificação hidrometeorológica da bacia visa caracterizar climaticamente a bacia de forma a se conhecer os fatores climáticos que podem interferir no andamento das obras. Os dados climatológicos são obtidos de duas fontes majoritariamente: INMET e ANA.

O Instituto Nacional de Meteorologia - INMET possui uma rede de estações espalhadas pelo Brasil que medem temperatura, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, pressão atmosférica, precipitação, entre outras variáveis. A rede é possui estações de sondagem de ar superior (radiossonda); estações meteorológicas de superfície, operadas manualmente; e a maior rede de estações automáticas da América do Sul.

Os dados coletados pelas estações do INMET são disponibilizados no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP, um portal no site do INMET. Fazendo o cadastro no portal, é possível ter acesso às séries históricas coletadas pelas estações desde 1961.

A Agência Nacional Águas – ANA, através do portal Hidroweb, disponibiliza séries históricas dos postos pluviométricos registrados em seu sistema. A ANA possui uma série de estações sob sua responsabilidade, porém, foi com a Resolução nº 396/1998, de 04 de dezembro de 1998, da ANEEL, em que ficou estabelecido que, em todos os aproveitamentos hidrelétricos, os agentes autorizados e concessionários de geração de energia hidrelétrica ficariam obrigados a instalar, manter e operar estações pluviométricas e fluviométricas nas regiões hidrográficas dos seus respectivos empreendimentos.

Os dados coletados por estas estações devem ser enviados à ANA, que é responsável pela compilação dos mesmos.

Segundo Pereira (2015), a tabela de dados deve apresentar dados de temperatura, umidade relativa e precipitação. Para aproveitamentos com reservatório de regularização, dados acerca da evapotranspiração da região.

### Temperatura

Devem ser calculadas as temperaturas médias mensais, destacando-se o trimestre mais quente e o mais frio, assim como a amplitude térmica absoluta, apresentado a temperatura máxima absoluta, mínima absoluta e a amplitude térmica.

### Umidade Relativa

Os dados de umidade relativa devem ser organizados de forma a apresentar a média mensal. Uma umidade relativa alta (acima de 70%) indica uma maior possibilidade do processo de conversão em precipitação (PEREIRA, 2015).

### Precipitação

A análise das séries históricas das estações pluviométricas escolhidas deve permitir caracterizar a distribuição anual da precipitação média na bacia. A obtenção dos dados das séries históricas se dá através do portal Hidroweb da ANA, que compila os dados de todas as estações pluviométricas ligadas a ANA e disponibiliza online para download.

As estações escolhidas devem estar, preferencialmente, dentro das bacias dos rios estudados, ou então possuírem as mesmas características encontradas na bacia do aproveitamento.

O estudo da precipitação fornecerá a distribuição sazonal das chuvas que caracteriza o período seco e o período chuvoso. Deve-se informar o percentual com que o período chuvoso contribui em relação ao total anual. É importante identificar o trimestre mais chuvoso e o total de precipitação no período.

A partir dos índices pluviométricos pode-se estimar o número de dias ou o período em que as obras ficarão paradas, assim como o período do ano mais propício para a construção do empreendimento.

### Evapotranspiração

As estações climatológicas do INMET já citadas neste trabalho também medem os índices de evapotranspiração da região. Os dados da série histórica devem ser organizados de forma a mostrar a média mensal de evapotranspiração, ressaltando os meses de máximo e mínimo.

Os dados de evapotranspiração são importantes para aproveitamentos com um grande reservatório, a fim de se calcular o volume útil e a vida útil do mesmo.

### 2.5.1.3. Série de Vazões

O estudo da série de vazões médias mensais é de extrema importância para se confirmar a viabilidade hídrica do aproveitamento, pois mostra, com base em dados observados, a vazão disponível para geração de energia.

Atualmente, é de responsabilidade da ANA o fornecimento da série de dados dos postos fluviométricos localizados no estirão do rio e na bacia hidrográfica através do portal Hidroweb já citado.

No estudo da série de vazões médias mensais, existem dois casos: O rio possui postos fluviométricos em sua bacia, ou o rio não possui postos.

No caso de o rio possuir postos fluviométricos em sua bacia, deve-se proceder a fazer o download dos dados e organizá-los em tabela, como exemplificado na tabela 4, destacando-se a média mensal e anual.

Tabela 4. Série de Vazões Médias Mensais do Posto de Benedito Novo.

VAZÕES MÉDIAS MENCIAIS (m³/s)													
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1941	16,0	18,7	10,4	7,9	12,3	16,0	5,6	11,1	10,1	13,3	20,7	19,2	13,4
1942	12,1	51,2	25,6	28,5	18,8	23,0	17,7	16,8	14,3	10,5	14,7	14,4	20,6
1943	9,0	14,4	7,9	5,8	14,7	31,1	21,8	36,8	22,1	21,4	13,5	10,3	17,4
1944	18,8	18,0	26,5	10,2	6,0	4,3	3,1	7,9	10,9	9,8	19,8	12,7	12,3
1945	7,8	37,4	11,5	10,9	4,8	4,6	15,1	5,1	16,2	28,9	13,6	17,9	14,5
1946	35,1	79,9	52,1	17,4	10,0	27,8	20,9	17,3	9,3	19,4	8,1	14,5	26,0
1947	19,5	44,2	21,8	7,6	12,5	12,0	18,4	20,1	41,3	50,0	26,1	25,7	24,9

Fonte: Hidroweb – ANA, adaptado.

ELETROBRÁS (2000) destaca que é necessário que a série histórica seja de, pelo menos, 25 anos de registro sem falhas e, se possível, compreenda o período crítico do Sistema Interligado Brasileiro, que foi de Jun/49 a Nov/56. Para preencher as falhas da série, estabelecem-se correlações de vazões médias mensais entre os postos das bacias, permitindo, assim, que se obtenha uma série contínua de vazões médias mensais para todos os postos da bacia (PEREIRA, 2015). Tem se observado, na literatura e na prática, que uma linha de tendência de uma equação potência normalmente obtém melhor valor para o coeficiente R-quadrado.

A série de vazões no local do empreendimento deve ser obtida com base na série consistida do posto fluviométrico mais próximo através de uma correlação simples com a área de drenagem dos pontos, na forma:

$$Q_{local} = \left( \frac{Q_{posto}}{A_{posto}} \right) \times A_{local} \quad (4)$$

Onde:

$Q_{local}$  vazão no local do aproveitamento, em m<sup>3</sup>/s;

$Q_{posto}$  vazão no posto fluviométrico, em m<sup>3</sup>/s;

$A_{posto}$  área de drenagem no posto fluviométrico, em km<sup>2</sup>; e

$A_{local}$  área de drenagem no local do aproveitamento, em km<sup>2</sup>.

Caso o rio não possua postos fluviométricos em sua bacia, devem ser escolhidos postos fluviométricos de bacias vizinhas ou bacias que possuam características semelhantes quanto a suas características fisiográficas. Escolhidos os postos, deve-se proceder da mesma forma já descrita para se obter a série de vazões médias mensais.

Obtida a série para o local do aproveitamento e atestada a consistência dos dados, prossegue-se a análise da curva de permanência. A curva mostra “a probabilidade de ocorrência de uma vazão determinada durante o período de informação” (FLÓREZ, 2014) com base na série histórica de dados. ELETROBRÁS (2000) diz que o cálculo das curvas de permanência de nível e vazão “permitirão a identificação de valores característicos de níveis ou vazões associados a diferentes probabilidades de permanência no tempo”, como é o caso da Q5%, Q50%, Q90% e Q95%.

Para o cálculo da curva de permanência de vazões, pode-se utilizar o critério de Kimball, que determina a ordenação dos dados de vazões médias mensais de forma decrescente, atribuindo um valor de 1 a n, onde n é o número total de valores da série, para cada vazão média mensal da série. A permanência de cada vazão, então, é dada pela equação:

$$P_i = \frac{n_i}{(n + 1)} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

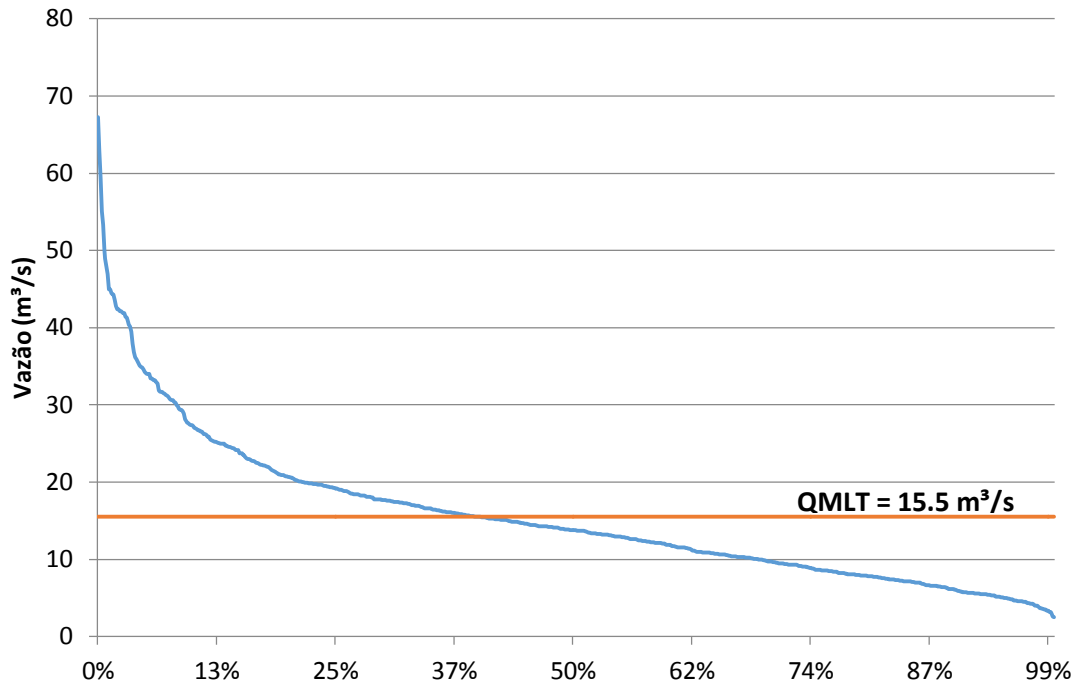
$P_i$  permanência da vazão  $Q_i$ , em %;

$n_i$  ordem atribuída a vazão  $Q_i$ ; e

$n$  número total de vazões da série.

Um exemplo do gráfico resultante é apresentado no gráfico 3 com os dados do posto de Arrozeira, localizado no Rio dos Cedros, no município de Rio dos Cedros/SC, onde QMLT é a vazão média de longo tempo, correspondente a média da série histórica.

Gráfico 3. Curva de Permanência Posto Arrozeira - 83675000.



#### 2.5.1.4. Vazões Extremas

Segunda ELETROBRÁS (2000), “a análise de frequência de cheias tem como objetivo estabelecer a relação entre os valores de vazões máximas e os tempos de retorno ou de recorrência a elas associados”. Pereira (2015) e Schreiber (1978) destacam a importância deste estudo para o dimensionamento das estruturas do vertedouro e desvio do rio.

O estudo das vazões extremas é um estudo probabilístico com base nos máximos registros fluviométricos anuais. Dessa forma, obtém-se um conjunto de valores máximos anuais, para o qual deve ser ajustada uma distribuição de probabilidade capaz de relacionar um tempo de retorno TR para cada vazão.

ELETROBRÁS (2000) determina o uso de duas distribuições: exponencial de dois parâmetros (estimada pelo método dos momentos), sempre que a assimetria da amostra for superior a 1,5, e Gumbel (extremos do tipo I), para assimetrias amostrais inferiores a 1,5. A média, desvio padrão e assimetria são dados pelas seguintes equações, respectivamente, onde  $x$  é uma variável qualquer e  $n$  é o número de amostras:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n x_i \quad (6)$$

$$s = \left[ \frac{1}{n-1} \times \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{0,5} \quad (7)$$

$$g = \frac{n}{(n-1) \times (n-2)} \times \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{s^3} \right] \quad (8)$$

Dessa forma, a partir do cálculo da assimetria escolhe-se a distribuição de probabilidades.

#### Exponencial de 2 Parâmetros

$$x_T = x_o - \beta \times \ln\left(\frac{1}{T}\right), \text{ onde:}$$

$$x_o = \bar{x} - s$$

$$\beta = s$$

$x_o$  e  $\beta$  são os parâmetros da distribuição.

#### Gumbel

$$x_T = \mu - \alpha \times \left( \ln \left( -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right), \text{ onde:}$$

$$\alpha = 0,78 \times s$$

$$\mu = \bar{x} - 0,577 \times \alpha$$

$\alpha$  e  $\mu$  são os parâmetros da distribuição.

A ELETROBRÁS disponibiliza para download, juntamente o documento “Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas”, o programa QMÁXIMAS que ajusta automaticamente para a distribuição de probabilidades mais apropriada, calculando seus parâmetros e exibindo as vazões com tempo de retorno de 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000 e 10000 anos. A tabela 5 mostra alguns valores de tempo de retorno utilizados para dimensionamento de estruturas.

Tabela 5. Tempos de Retorno típicos.

Extravador de Barragem de Terra	TR $\cong$ 1000 anos
Extravador Barragem de Concreto	TR $\cong$ 500 anos
Galeria de Águas Pluviais	TR $\cong$ 5 a 20 anos
Pequena Barragem de Concreto para abastecimento	TR $\cong$ 50 a 100 anos
Grande Barragem (vertedor)	TR $\cong$ 10000 anos
Ensecadeira	TR $\cong$ 1 ou 2 anos
Casa de Força	TR $\cong$ 10000 anos

Fonte: ELETROBRÁS, 2003 e JÚNIOR, 2015.

Porém, como os dados utilizados para as vazões máximas equivalem à vazão média diária, as vazões máximas calculadas também são vazões médias do hidrograma de cheia. Dessa forma, segundo Pereira (2015), os valores devem ser corrigidos pela fórmula de Fuller:

$$Q_{m\acute{a}x} = Q \times (1 + 2,66 \times A^{-0,3}) \quad (9)$$

Onde:

$Q_{m\acute{a}x}$  energia gerada, em  $m^3/s$ ;

$Q$  vazão calculada pela distribuição de probabilidade, em  $m^3/s$ ; e

$A$  área de drenagem do local do aproveitamento, em  $Km^2$ .

#### 2.5.1.5. Vazão Sanitária

De acordo com o Código Ambiental de Santa Catarina, elaborado em 2009, vazão sanitária ou ecológica é o “regime de vazões necessário para manter as funções mínimas do ecossistema”. Pereira (2015) diz que a vazão sanitária é “necessária à manutenção e sobrevivência do ecossistema no trecho do rio a jusante da barragem ou entre a barragem e a casa de força”.

O estabelecimento da vazão sanitária, como destacado por Pereira (2015) e ELETROBRÁS (2000) se faz necessário especialmente para aproveitamentos hidrelétricos do tipo derivação, ou seja, que possuam estruturas de desvio do rio, sejam canais ou condutos. A vazão sanitária é uma parte da vazão afluente do rio que é “descartada”, no sentido em que ela nunca poderá ser turbinada, mas será liberada por um dispositivo hidráulico a ser projetado no corpo da barragem. Caso a vazão sanitária não seja liberada, o trecho do rio entre a barragem e a casa de força corre o risco de secar, o que prejudicaria a fauna e flora imediatamente a jusante da barragem.

O cálculo da vazão sanitária não é unificado no Brasil, cabendo a cada órgão ambiental estadual estabelecer um critério geral de cálculo e os parâmetros que serão levados em conta na análise de cada caso. A tabela 6 apresenta as definições em alguns estados brasileiros do cálculo da vazão sanitária.

Tabela 6. Critérios de Cálculo de Vazão Sanitária.

ESTADO	VAZÃO SANITÁRIA
Alagoas	10% de $Q_{90}$
Bahia	20% de $Q_{90}$
Ceará	10% de $Q_{90}$
Distrito Federal	20% de $Q_{7,10}$ ou $Q_{90}$
Goiás	30% de $Q_{95}$
Mato Grosso	Somatório dos usos consuntivos no trecho mais 10% das vazões médias mensais
Minas Gerais	70% de $Q_{7,10}$
Paraíba	10% de $Q_{90}$
Paraná	50% de $Q_{7,10}$
Pernambuco	20% de $Q_{90}$
Rio de Janeiro	50% de $Q_{7,10}$
Rio Grande do Norte	10% de $Q_{90}$
Rondônia	30% de $Q_{95}$



São Paulo	50% de $Q_{7,10}$
Sergipe	70% de $Q_{90}$
Tocantins	25% de $Q_{90}$

Fonte: Stano, 2013.

Para o estado de Santa Catarina, o cálculo da vazão sanitária de aproveitamentos hidrelétricos é determinada pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável – SDS, através da portaria nº 36 de 29 de julho de 2008. Esta portaria, no artigo 1º e no parágrafo 1º dita:

Art. 2º - Para a análise de disponibilidade hídrica para captações ou derivação de cursos d'água de domínio do Estado de Santa Catarina, será adotada, como vazão de referência, a  $Q_{98}$  (vazão de permanência por 98% do tempo).

§ 1º - A vazão outorgável será equivalente a 50% da vazão de referência. (Alterado pela Portaria SDS 051/2008, de 02.10.2008).

A vazão de referência  $Q_{98}$  é retirada do estudo da série histórica de vazões médias mensais já citado discorrido anteriormente. O significado da  $Q_{98}$  é que, em 98% do tempo do ano, a vazão afluente do rio é maior ou igual a vazão de referência.

## 2.5.2. Estudos Topográficos e Geológicos

### 2.5.2.1. Estudo Topográfico

Schreiber (1977) defende que para um correto estudo do rio, é necessário fazer um levantamento topográfico de todas as áreas de interesse para o aproveitamento. Além do levantamento das cartas topográficas do IBGE na escala 1:50.000, é necessária a realização de levantamento topográfico de precisão com curvas de nível de metro e metro para a correta caracterização da região.

ELETROBRÁS (2000) diz que os levantamentos topográficos são necessários para o levantamento das seguintes características:

- Determinação da queda natural no local;
- Planialtimétricos das áreas de implantação das estruturas previstas;
- Planialtimétricos das áreas de empréstimo de solo, jazidas de areia e cascalho e pedreiras;
- Nivelamento da linha d'água do reservatório;
- Cadastro jurídico das propriedades atingidas;
- Levantamento das propriedades atingidas para efeito de subdivisão e averbação legal.

### 2.5.2.2. Geológicos e Geotécnicos

Os objetivos dos estudos geológicos e geotécnicos são elaborados por ELETROBRÁS (2000):

- Investigar as condições das fundações e ombreiras na região das estruturas componentes do aproveitamento, bem como das encostas na vizinhança da obra;
- Pesquisar e caracterizar as áreas de empréstimo de solo, jazidas de areia e cascalho mais próximas do sítio do empreendimento; e
- Locais prováveis para lançamento de bota-fora, instalação de canteiro e alojamento de operários.

De forma a cumprir tais objetivos, os estudos são divididos em geologia regional, geologia local e matérias de construção.

O estudo da geologia regional consiste em se analisar o local do aproveitamento com base no estudo das cartas de Geologia e Geomorfologia disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística –IBGE, em seu site. Prossegue-se então de forma a identificar os domínios geológicos em que o aproveitamento está localizado e suas características, buscando encontrar possíveis interferências das condicionantes locais.

As cartas geológicas de Santa Catarina foram elaboradas em 2003, a partir da sistematização das Informações dos Projetos Gerenciamento Costeiro e Projeto RADAMBRASIL, atualizadas com base no Manual Técnico de Geologia (IBGE, 1998), em interpretações de fotografias aérea na escala 1:45.000 e em trabalhos expeditos de campo, realizados em 2001, pela equipe de geologia, da Gerência de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, da Unidade Estadual do IBGE, em Santa Catarina, em cumprimento às atividades do Projeto de Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais, da Diretoria de Geociência do IBGE.

As cartas geomorfológicas de Santa Catarina foram elaboradas no ano de 2004, a partir da sistematização das informações dos projetos RADAMBRASIL e Gerenciamento Costeiro/SC, atualizadas com base no Manual Técnico de Geomorfologia, em interpretações de imagens de radar (1976) e de satélite Landsat-7 (2001) e em trabalhos de campo pela equipe de Geomorfologia da Gerência de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, da Unidade Estadual do IBGE em Santa Catarina, em cumprimento às atividades do Projeto Sistematização das Informações Sobre Recursos Naturais, da Diretoria de Geociências.

O reconhecimento geológico e geotécnico realizado permite identificar as principais feições das fundações dos locais de interesse. Assim, o estudo da geologia local busca detalhar e especificar as características destas feições. É nesta etapa que entra o planejamento das sondagens, onde os resultados obtidos fundamentarão as decisões quanto ao local do barramento, ao tipo de barramento conforme a capacidade de suporte das fundações e que tipo de tratamento será necessário para as fundações das estruturas.

Pereira (2015) defende que, em geral, “as obras devem ser construídas com os materiais disponíveis no local, o que condiciona, decisivamente, o projeto”. Os materiais a serem pesquisados, de forma geral, são:

- Solos para utilização nas obras de terra;
- Areia para utilização nos concretos e filtros;
- Cascalho (seixo rolado) para utilização nos concretos e espaldares;
- Rocha para utilização nos enrocamentos, transições e agregados graúdos (brita) para os concretos e filtros.

A qualidade desses materiais deve ser determinada conforme as diretrizes de ELETROBRÁS (2000) e das NBRs citadas na mesma.

### 2.5.3. Estudos Energéticos e Econômicos

#### 2.5.3.1. Simulação Energética

Um aproveitamento hidrelétrico gera energia a partir da transformação da energia potencial de um desnível que gira uma. A potência do empreendimento é dada pela equação a seguir.

$$P = g \times \mu \times H_L \times Q \quad (10)$$

Onde:

- $P$       potência, em MW;
- $g$       aceleração da gravidade, em m/s<sup>2</sup>;
- $\mu$       rendimento médio do conjunto turbina-gerador;
- $H_L$       queda líquida, em metros; e
- $Q$       vazão turbinada, em m<sup>3</sup>/s.

O valor da queda líquida é igual ao valor da queda bruta descontado das perdas de carga do circuito de adução da alternativa, que será apresentado a seguir. A vazão turbinada é a vazão disponível para geração de energia, descontada a vazão sanitária e

respeitando o engolimento máximo da turbina. Pereira (2015) propõe um rendimento da turbina na ordem de 90% e do gerador na ordem de 98%, acarretando num rendimento do conjunto igual a 88%, enquanto que ELETROBRÁS (2000) indica um valor mais conservador para o conjunto, de 85%.

A simulação energética é realizada com base na série histórica de vazões consistidas dos estudos hidrológicos do rio. A Portaria nº 463, de 3 de dezembro de 2009, do Ministério de Minas e Energia – MME, é necessário um histórico de vazões médias mensais “não inferior a trinta anos, e gerado de maneira que esse seja o mais extenso e atualizado possível”. A simulação da operação energética da usina consiste na aplicação de um modelo matemático de simulação, normalmente em uma planilha de excel, a partir do qual se obtém dois resultados importantes:

- Potência Média ( $P_M$ ): é a média da potência para todos os meses da série histórica de vazões.
- Benefício Financeiro do Aproveitamento: consiste em se multiplicar a potência média (MW) pelo número de horas do ano (8760 horas), obtendo-se assim a geração média anual do aproveitamento em MWh. Este valor pode ser multiplicado pelo valor praticado no mercado de venda de energia (R\$/MWh) e obtido o benefício financeiro do aproveitamento em um ano de operação.

Nesta fase de simulação energética, é possível, através de um processo iterativo na planilha de cálculo, a alteração da potência instalada da usina, a fim de se obter um fator de capacidade ótimo de 0,55, determinado como mínimo pela Eletrobrás.

#### 2.5.3.2. Orçamento Padrão Eletrobrás – OPE

A estimativa dos custos do aproveitamento é organizada no modelo de orçamento proposto pela Eletrobrás, o OPE. O OPE é uma planilha composta de contas padrão que, segundo Pereira (2015), possui uma estrutura orçamentária antiga e defasada, tornando-o confuso. Na prática, cada empresa utiliza sua própria metodologia e orçamento e avaliação de riscos, seguros, etc. Porém, tendo em vista que é necessária uma estrutura orçamentária padrão para melhor avaliação das propostas em leilões de energia, é utilizada, por falta de outras opções, as planilhas do OPE como padrão.

As contas do OPE são numeradas de 10 a 17 e são apresentadas de forma simplificada a seguir.

- Conta 10: terrenos, relocações e outras ações socioambientais. É a conta dos custos ambientais.

- Conta 11: estruturas e benfeitorias. Engloba a casa de força e a vila dos operários.
- Conta 12: barragens e adutoras. Engloba o desvio do rio, as barragens de terra e concreto, o vertedouro, o circuito de adução (tomada d'água, conduto forçado ou túnel adutor, chaminé de equilíbrio e canal/túnel de fuga), bem como construções especiais (eclusa, por exemplo).
- Conta 13: turbinas e geradores
- Conta 14: equipamentos elétricos acessórios (ligação da usina ao sistema elétrico).
- Conta 15: diversos equipamentos da usina (ponte rolante para instalação das turbinas, sistemas mecânicos auxiliares).
- Conta 16: estradas de rodagem, de ferro e pontes – inclui aeroporto.
- Conta 17: custos indiretos. Engloba o canteiro e acampamento, engenharia e administração do proprietário.

O quantitativo dos materiais necessários para as obras devem ser levantados com base na bibliografia ou com base na experiência de obras semelhantes a que se está sendo estudada.

Os custos unitários considerados para cada atividade devem ser custos praticados normalmente no mercado, obtidos através do conhecimento do mercado ou pesquisa junto aos fornecedores e prestadores de serviço.

### 2.5.3.3. Índice Benefício – Custo

A análise da viabilidade econômica financeira é realizada através da comparação dos custos (OPE) versus os benefícios (MWh gerados). Dessa forma, o índice IBC é o parâmetro utilizado para se obter o arranjo ótimo do aproveitamento. O ICB é calculado através da equação:

$$ICB = \frac{CT}{8760 \times \Delta E} \text{ ou } ICB = \frac{8760 \times \Delta E \times CRE}{CT} \quad (11)$$

Onde:

*ICB* índice custo/benefício energético, em R\$/MW;

*CT* custo total anual da usina, em R\$;

*CRE* custo de referência de energia, a tarifa adotada, em R\$; e

*ΔE* acréscimo de energia propiciado pela mudança no arranjo.

O custo total anual é calculado pela expressão:

$$CT = C \times FRC + Pi \times COM \times 10^3 \quad (12)$$

Onde:

*C* custo do aproveitamento, em R\$, incluindo juros durante a construção;

*Pi* Potência Instalada na usina, em MW;

*COM* custo anual de operação e manutenção de usinas hidrelétricas, em R\$/kW.ano; e

*FRC* fator de recuperação de capital, ao longo da vida econômica útil do aproveitamento, segundo a taxa de desconto adotada, definido pela expressão seguinte:

$$FRC = \frac{j \times (1 + j)^z}{(1 + j)^z - 1} \quad (13)$$

Onde:

*j* taxa anual de desconto; e

*z* vida econômica útil das usinas, considerada como igual a 50 anos.

A taxa de desconto é a taxa utilizada para calcular o valor presente dos desembolsos futuros, correspondentes ao investimento, e para determinar o custo anual deste investimento. ELETROBRÁS (2000) define como valor base 12%. Entretanto, valores na ordem de 10% têm sido praticados no mercado.

É necessário se estabelecer se o estudo econômico-financeiro será realizado para o tempo de vida útil da usina (normalmente 50 anos) ou para o tempo mínimo de concessão proposto pela Lei 9074/95 para as concessões outorgadas por licitação pública, que é de 35 anos renováveis, incluindo estudos, construção e operação.

Na primeira forma da equação, o resultado é dado em R\$/MWh e deve ser comparado com a tarifa de referência utilizada. Caso o valor obtido por MWh seja maior do que ao custo referência de energia, o empreendimento deve ser considerado inviável financeiramente. Na segunda forma da equação, o benefício energético deve ser agora o numerador e deve ser multiplicado pela tarifa de referência. Dessa forma, o custo total anual é comparado com o benefício energético anual. Enquanto o resultado for maior do 1, indica que o aproveitamento é viável.

## 2.6. OTIMIZAÇÃO DO ARRANJO

### 2.6.1. Eixo do Barramento e Localização Casa de Força

As escolhas do eixo do barramento e da localização da casa de força são de fundamental importância, principalmente em aproveitamentos com arranjo do tipo derivados, pois com a alteração destes locais, altera-se a queda bruta do aproveitamento, influenciando na energia gerável para o mesmo.

Desta forma, deve-se buscar um eixo que proporcione o melhor aproveitamento da queda e apresente os menores custos possíveis. Segundo MME (2007), na pesquisa dos possíveis locais barráveis, “devem ser observados com especial interesse todos os trechos em corredeiras e quedas de água, além de todos os locais que apresentem estreitamentos acentuados do vale”.

Devem-se escolher locais que apresentem as duas, ou pelo menos uma das encostas próximas ao rio, o que ocasiona em uma menor dimensão para as ombreiras da barragem, diminuindo os custos. Buscam-se, também, locais em que o reservatório causará o menor impacto socioambiental possível, evitando-se áreas de preservação permanente (APP), construções e estradas.

ELETROBRÁS (2000) comenta que o tipo de casa de força, sempre externa, abrigada (“indoor”) ou desabrigada (“outdoor”), será definido em função das particularidades de cada aproveitamento e de cada arranjo e, ainda, das características dos equipamentos eletromecânicos. Busca-se posicionar a casa de força em locais onde a queda seja a maior possível, sem que o projeto seja onerado por um grande volume de escavação.

### 2.6.2. Tipo e Altura da Barragem

A tabela 7 compila os critérios propostos por Pereira (2015), Cruz (1996), Assis (2006) e Schreiber (1978) em suas bibliografias de referência, a serem levados em conta ao se escolher o tipo de barragem que será construída.

Tabela 7. Critérios de decisão do tipo de barragem.

Clima	Em localidades com elevada variação de temperatura, a construção de barragens de concreto é mais problemática, da mesma forma que em locais com altos índices de pluviosidade a compactação de barragens de terra é prejudicada.
Fundação	A natureza das fundações implica no tipo de tratamento necessário para a mesma. Barragens de enrocamento e concreto devem ser construídas sobre rocha sã, enquanto que barragens de terra possuem uma maior gama de possibilidades.
Material	A disponibilidade de materiais é um dos fatores mais importantes na seleção de que barragem construir. A presença de jazidas ou ausência delas, assim como de material provindo de escavações pode ser o que viabilizará a construção da barragem.

Fonte: Pereira (2015), Cruz (1996), Assis (2006) e Schreiber (1978).

A altura da barragem é determinada através da determinação do nível normal de operação da barragem e do nível máximo de operação. Estes níveis são calculados com base na curva-chave do eixo do barramento, obtida com o cálculo da vazão do vertedouro (ELETROBRÁS, 2003). Com a variação destes parâmetros de projeto, é possível estimar os benefícios energéticos ganhos com o aumento da altura da barragem e consequente aumento da queda bruta do aproveitamento, assim como o aumento dos custos devido ao aumento da quantidade de materiais e do nível do reservatório e o consequente aumento da área atingida que deverá ser desapropriada.

É realizada então uma análise do IBC incremental para cada altura de barragem, obtendo-se a altura ótima para o aproveitamento, dados os parâmetros de projeto.

### 2.6.3. Dimensionamento das Estruturas

O dimensionamento das estruturas deve seguir a publicação “Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas” da ELETROBRÁS, de 2003, que apresenta as diretrizes construtivas e as fórmulas necessárias para o dimensionamento otimizado das estruturas, calculando-se a perda de carga nas mesmas em função das características geométricas adotadas. O circuito de adução pode contar com canal de adução, túnel de adução, ou uma combinação dos dois.

A seguir são apresentadas as diretrizes de dimensionamento das principais estruturas do circuito de adução.

#### 2.6.3.1. Canal de Adução

O dimensionamento do canal de adução é realizado “com base em um estudo econômico objetivando a minimização da soma do custo da estrutura e do valor presente



da energia perdida”. Em princípio, o canal é dimensionado para o engolimento máximo das turbinas, com uma velocidade na ordem de 2,5 m/s e 1 m/s para canais escavados em rocha e solo, respectivamente.

A perda de carga do canal é calculada do método das diferenças finitas "Standard Step Method", utilizando-se a equação de Manning-Strickler:

$$h_f = L \times \left( \frac{n \times V}{R^{2/3}} \right)^2 \quad (14)$$

Onde:

$h_f$  perda de carga contínua no canal, em metros;

$V$  velocidade média na seção do canal, obtida por  $V=Q/A$ , em m/s;

$n$  coeficiente de rugosidade de Manning;

$L$  comprimento do canal, em metros; e

$R$  raio hidráulico =  $A/P$ , em m.

#### 2.6.3.2. Tomada D'água

A tomada d'água é dimensionada de forma a estabelecer uma aceleração progressiva e gradual do escoamento do reservatório à adução, evitando-se os fenômenos de separação do escoamento e minimizando-se as perdas de carga.

A fim de se evitar o aparecimento de vórtices com arrastamento de ar na tomada d'água, é necessário calcular a submergência mínima da tomada d'água pela seguinte equação:

$$s = K \times V \times \sqrt{d} \quad (15)$$

Onde:

$s$  submergência da tomada, em metros;

$d$  mínima dimensão vertical na seção longitudinal da tomada, em m;

$V$  velocidade média nesta seção, em m/s; e

$K$  coeficiente variável, igual a 0,545 para condições simétricas de aproximação, e 0,725 para condições assimétricas de aproximação.

Além desta condição, a aresta superior do portal de entrada da tomada de água deverá se situar pelo menos 2,0 m abaixo do nível de água mínimo normal do reservatório.

A perda de carga na tomada de água inclui a perda de carga nas grades, contínua ao longo da entrada até a seção da comporta e nas ranhuras da comporta.

$$h_t = (K_e + K_g + K_r) \times \frac{V^2}{2 \times g} \quad (16)$$

Onde:

- $h_t$  perda de carga na tomada d'água, em metros;  
 $K_e$  coeficiente de perda de carga na entrada, entre o portal de entrada e a seção das comportas;  
 $K_g$  coeficiente de perda de carga nas grades;  
 $K_r$  coeficiente de perda de carga nas ranhuras das comportas;  
 $V$  velocidade média nesta seção, em m/s; e  
 $g$  aceleração da gravidade = 9,81 m/s<sup>2</sup>.

O valor de  $K_e$  será definido com base em tabelas ou dados experimentais indicados nos Gráficos 221-1 a 222-1/3 do Hydraulic Design Criteria (1977). Para o cálculo de  $K_g$  é levado em consideração a seção real de obstrução incluindo os perfis estruturais e de contraventamento da grade, obtendo o valor através da seguinte equação:

$$K_g = 1,45 - 0,45 \times \frac{a_l}{a_b} - \left( \frac{a_l}{a_b} \right)^2 \quad (17)$$

Onde:

- $a_l$  área líquida através das grades; e  
 $a_b$  área bruta das grades e guias.

### 2.6.3.3. Túnel de Adução

Assim como o dimensionamento do canal adutor, o dimensionamento do túnel de adução é realizado com base em um estudo econômico objetivando a minimização da soma do custo da estrutura e do valor presente da energia perdida. Sempre que as condições geológicas forem favoráveis, pode-se adotar para o túnel a seção arco retângulo. Caso contrário, deverá ser adotada seção ferradura, que apresenta maior estabilidade estrutural.

As perdas de carga no túnel podem ser calculadas pela equação de Manning-Strickler ou pela fórmula de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \times \frac{L}{4 \times R} \times \frac{V^2}{2 \times g} \quad (18)$$

Onde:

- $h_f$  perda de carga contínua, em m;  
 $V$  velocidade média na seção, em m/s;

- $n$  coeficiente de rugosidade de Manning;
- $L$  comprimento do túnel, em m;
- $R$  raio hidráulico =  $A/P$ , em m;
- $g$  aceleração da gravidade =  $9,81 \text{ m/s}^2$ ; e
- $f$  coeficiente universal de perda de carga, calculado pela expressão de Colebrook-White num processo iterativo:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log \left( \frac{2\varepsilon}{D} + \frac{2,51}{R_e \times \sqrt{f}} \right) \quad (19)$$

- $\varepsilon$  rugosidade das paredes do conduto, em m;
- $R_e$  número de Reynolds =  $\frac{V \times D}{\nu}$
- $\nu$  coeficiente de viscosidade cinemática =  $1,01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  (para água a  $20^\circ\text{C}$ ).

O túnel de adução pode ser escavado em rocha, podendo receber ou não revestimento de concreto projetado (suaviza a superfície, diminuindo a perda de carga) ou não, ou pode ser também um túnel de aço. Para a escolha do tipo de material do túnel, levar-se-á em conta as dimensões do mesmo, seu comprimento e diâmetro, assim como as escavações necessárias.

#### 2.6.3.4. Chaminé de Equilíbrio

A utilização de chaminés de equilíbrio está ligada ao problema da redução do golpe de aríete nos condutos forçados e redução de velocidade do escoamento para o mesmo não danificar o conjunto turbina-gerador. Os dois problemas são tanto mais agudos quanto maior o comprimento dos condutos forçados com relação à queda da usina.

A chaminé de equilíbrio é um reservatório de eixo vertical, normalmente posicionado no final da tubulação de adução de baixa pressão e a montante do conduto forçado.

Segundo ELETROBRÁS (2003), a verificação da necessidade de chaminé de equilíbrio é feita pelo critério simplificado de Canabara, que diz que a construção de uma chaminé de equilíbrio é necessária se a relação entre o comprimento do conduto e a queda bruta exceder:

- 10:1, para pequenas usinas com reservatórios considerando o nível máximo normal do reservatório;
- 6:1, para pequenas usinas; e
- 4:1, para grandes usinas.

Já ELETROBRÁS (2000) diz que se a relação acima for maior que 5, é dada uma indicação inicial da necessidade da construção de uma chaminé de equilíbrio, devendo ser verificada pelo critério da constante de aceleração do escoamento no conduto forçado, obtido na expressão a seguir.

$$t_h = \frac{V_{cf} \times L_{cf}}{g \times H_b} \quad (20)$$

Onde:

$t_h$  tempo de aceleração do escoamento no conduto forçado, em segundos;

$V_{cf}$  velocidade do escoamento no conduto forçado, m/s;

$L_{cf}$  comprimento do conduto forçado, em metros;

$H_b$  queda bruta, em metros;

Para  $t_h < 3,0$  s, não há necessidade de instalação da chaminé. Entre 3 e 6 é desejável mas não obrigatória. Para  $t_h > 6,0$  s, é obrigatória a instalação da chaminé.

As dimensões mínimas da chaminé de equilíbrio devem obedecer as condições de Sparre e Thoma, apresentadas a seguir nesta ordem.

$$F \geq f$$

Onde:

$F$  área da seção transversal da chaminé, em m<sup>2</sup>; e

$f$  área da seção transversal da adução na bifurcação com a chaminé, m<sup>2</sup>.

$$F > F_T$$

$$F_T = \frac{V^2}{2 \times g} \times \frac{f \times L}{h \times (H - h)} \quad (21)$$

Onde:

$F$  área da seção transversal da chaminé, em m<sup>2</sup>;

$F_T$  área mínima da seção transversal da chaminé - Seção de Thoma, em m<sup>2</sup>;

$V$  velocidade média nesta seção, em m/s;

$f$  área do conduto de adução, em m<sup>2</sup>;

$L$  comprimento do conduto de adução, em m;

$H$  queda bruta mínima da usina (diferença entre a cota mínima do reservatório de montante e a cota de restituição da usina), em m; e

$h$  perda de carga ao longo do conduto de adução para a vazão nominal (até a chaminé de equilíbrio), em m.

Na prática, o critério da constante de aceleração do escoamento no conduto forçado é o mais utilizado em trabalhos no mercado.

#### 2.6.3.5. Conduto Forçado

O dimensionamento do diâmetro do conduto forçado é baseado num estudo econômico buscando-se o diâmetro ótimo. O aumento do diâmetro do conduto diminui a perda de carga no mesmo, aumentando os benefícios energéticos, porém aumentando os custos de escavação e material.

De acordo com ELETROBRÁS (2003), as velocidades no conduto devem ser limitadas a 7 m/s em condutos revestidos de concreto e 8 m/s em condutos de aço.

As perdas de carga contínuas são calculadas pela fórmula de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2 \times g} \quad (22)$$

Onde:

$h_f$  perda de carga no conduto forçado, em metros;

$L$  comprimento do conduto forçado, em metros;

$D$  diâmetro do conduto forçado, em metros;

$V$  velocidade média no conduto forçado, em m/s;

$g$  aceleração da gravidade = 9,81 m/s<sup>2</sup>;

$f$  coeficiente universal de perda de carga, calculado pela expressão de Colebrook-White.

ELETROBRÁS (2000) propõe que o diâmetro calculado pela fórmula de Bondshu pode ser considerado o diâmetro econômico.

$$D_e = 123,7 \times \sqrt[7]{\frac{Q^3}{H_t}} \quad (23)$$

Onde:

$D_e$  diâmetro econômico, em metros;

$Q$  vazão máxima, em m<sup>3</sup>/s; e

$H_t = H_b + h_s$  = carga hidráulica total sobre o conduto (m), igual à soma da queda bruta ( $H_b$ ) com sobrepressão devida ao golpe de aríete ( $h_s = 0,2 \times H_b$ ).

E estabelece ainda a fórmula de Scobey para o cálculo da perda de carga.

$$J = 410 \times K_a \times \frac{V^{1,19}}{D^{1,1}} \quad (24)$$

Onde:

$J$  perda de carga unitária, em m/km;

$D$  diâmetro do conduto, em metros; e

$K_a$  coeficiente que varia com o tipo de tubulação, mostrado na tabela 8.

Tabela 8 Valores de Coeficiente  $K_a$ .

<b>CONDUTO</b>	<b><math>K_a</math></b>
Aço	0,32
Cimento-amianto	0,34
Concreto armado	0,38

### 3. ESTUDO DE CASO

A seguir, encontra-se a aplicação dos conceitos descritos no capítulo de revisão de literatura para o caso da Pequena Central Hidrelétrica Martins, localizada no rio Afluyente, com potência proposta de 2,75 MW em inventário hidrelétrico do rio, elaborado em 2001. Na época de execução do inventário, o aproveitamento foi enquadrado como PCH considerando a legislação vigente à época. Porém, como já citado no capítulo de revisão de bibliografia, a Lei 13.097 de 19 de janeiro de 2015 alterou o limite de 1 para 3 MW, enquadrando, dessa forma, a PCH Martins como uma CGH, tendo em vista a capacidade instalada proposta de 2,75 MW.

A CGH Martins está localizada no estado de Santa Catarina. Os reais nomes do aproveitamento e rio e exata localização do aproveitamento foram omitidos neste estudo a pedido do cliente, que concedeu as informações necessárias para o estudo apenas com a promessa de sigilo. Dessa forma, todos os dados expostos são dados reais, porém com os nomes modificados.

#### 3.1. DESCRIÇÃO DO APROVEITAMENTO

O aproveitamento CGH Martins se encontra próximo à foz do rio Afluyente com o rio Principal, aproveitando a queda natural da região. Não há necessidade de construção de novos acessos para o aproveitamento, visto que a malha rodoviária municipal e estadual já possibilitam o acesso aos locais de interesse do aproveitamento.

#### 3.2. BACIA HIDROGRÁFICA

A área de drenagem do rio Afluyente foi delimitada utilizando-se mapas topográficos disponibilizados no site do Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeriologia de Santa Catarina, CIRAM, (<http://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca/>) que é um braço da EPAGRI. Os mapas disponibilizados estão em escala 1:50.000 e possuem curvas de nível de 20 em 20 metros. Através do software Autocad foi possível realizar a medição e se obteve uma área de drenagem de aproximadamente 82 km<sup>2</sup>, caracterizando a bacia do rio Afluyente como uma microbacia, segundo Faustino (1996).

#### 3.3. FORMA DA BACIA

O cálculo da forma da bacia busca associá-la com formas geométricas conhecidas, como um círculo ou um quadrado. Para isso são usados os coeficientes apresentados a seguir.

### 3.3.1. Coeficiente de Compacidade $K_c$

Utilizando-se do software Autocad, foi possível pedir os dois parâmetros requeridos pela fórmula, obtendo-se um coeficiente de compacidade igual a 1,57, denotando que a bacia não é muito sujeita a grandes enchentes.

### 3.3.2. Índice de Conformação ou Fator de Forma $K_f$

A bacia do rio Santa Maria possui um fator de forma igual a 0,009, atestando que a bacia é pouco sujeita a grandes enchentes.

## 3.4. DADOS LEVANTADOS

### 3.4.1. Cartográficos

Foram obtidas as seguintes cartas topográficas:

- SG-22-Z-B-IV-1 – Rio dos Cedros
- SG-22-Z-B-IV-3 – Timbó
- SG-22-Z-A-VI-4 – Dona Ema

Estas cartas foram geradas pelo IBGE e ambas estão na escala 1:50.000, com curvas de nível de 20 em 20 metros.

### 3.4.2. Hidrológicos

Para o cálculo das vazões médias mensais no local do aproveitamento da CGH Martins, foram levantados os dados de 4 estações fluviométricas da ANA, expostas na tabela 9. Os dados foram obtidos na plataforma online da ANA para download de dados hidrológicos, o site da Hidroweb ([www.hidroweb.ana.gov.br](http://www.hidroweb.ana.gov.br)).

Tabela 9. Estações Fluviométricas utilizadas.

ESTAÇÃO		ENTIDADE	ÁREA DE DRENAGEM (km <sup>2</sup> )	PERÍODO DE DADOS UTILIZADO	
CÓDIGO	IDENTIFICAÇÃO			INÍCIO	FINAL
83660000	Benedito Novo	ANEEL	692	1934	2002
83677000	Timbó Novo	ANEEL	1.492	1990	2006
83690000	Indaial	ANEEL	9.850	1929	2007
83675000	Arrozeira	ANEEL	455	1930	2006

Fonte: Hidroweb, ANA (2015).

### 3.4.3. Geológico-Geotécnicos

Os dados geológicos e geotécnicos levantados consistiram nas seguintes cartas do IBGE:

- Geologia na escala 1:250.000 SG-22-Z-B- Joinville



– Geomorfologia na escala 1:250.000 SG-22-Z-B- Joinville

De forma a complementar os dados geológicos, foi realizado um plano de sondagens que consistiu em sete pontos de sondagem rotativa que são localizados em anexo pontos estratégicos para o arranjo selecionado, como o eixo do barramento, o ponto de emboque e de saída do túnel de adução, a chaminé de equilíbrio e a casa de força. Entretanto, até a conclusão deste trabalho, as sondagens ainda não haviam sido concluídas. Dessa forma, o topo rochoso foi considerado na mesma profundidade em que foi encontrado em um outro aproveitamento no mesmo rio, num trecho à montante.

### 3.5. ESTUDOS HIDROMETEOROLÓGICOS E FISIAGRÁFICOS

#### 3.5.1. Caracterização Climatológica

Os dados climatológicos utilizados para definição do clima na região estudada foram obtidos através das estações meteorológicas de Blumenau, Indaial e Timbó.

A temperatura média anual na região é de 20,3 °C. A temperatura média mensal mínima é de 15,5 °C em Julho, e a temperatura média mensal máxima é de 25,5 °C, em Janeiro. A evaporação anual média é estimada em torno de 800mm, o que corresponde a uma taxa de evaporação de 2,2 mm/dia. O valor mensal máximo ocorre no mês de Janeiro, com um total de 104 mm que corresponde a uma evaporação de 3,3 mm/dia.

O valor anual de umidade relativa é de 84,2% em Blumenau e de 77% em Indaial, que representam, também, os valores máximo e mínimo da região. As tabelas 10, 11 e 12 mostram os valores médios mensais de longo período de temperatura, evaporação e umidade relativa.

Tabela 10. Dados de Temperatura Média Mensal e Anual (°C).

ESTAÇÃO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
Blumenau	24,5	24,4	23,2	21,0	18,1	16,3	15,5	16,4	17,9	19,6	21,5	23,4	20,2
Indaial	24,5	24,7	23,8	21,0	18,9	15,6	15,8	16,9	17,9	20,1	21,8	23,8	20,4
Timbó	25,5	24,4	23,3	20,9	17,5	15,7	15,5	16,6	18,1	20,4	21,9	23,2	20,3

Tabela 11. Dados de Evaporação Média Mensal e Anual (mm).

ESTAÇÃO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
Blumenau	59	50	54	43	38	31	34	38	39	47	53	61	547
Indaial	97	75	71	67	63	50	57	59	61	79	89	94	862
Timbó	104	86	76	64	59	44	50	58	57	77	90	97	862

Tabela 12. Dados de Umidade Relativa Média Mensal e Anual (%).

ESTAÇÃO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
Blumenau	82,1	83,7	84,3	85,1	85,8	87,2	86,2	85,2	85,2	83,5	81,2	81,0	84,2
Indaial	73,7	77,7	76,7	77,7	77,4	79,5	80,2	77,6	77,8	76,7	75,1	73,9	77,0
Timbó	79,4	81,4	83,4	84,3	85,1	86,6	86,9	84,9	85,3	82,8	80,1	80,2	83,4

A descrição climatológica do local do aproveitamento foi retirada do estudo de inventário do rio Afluente. Vale destacar que, como para a CGH Martins não é previsto um reservatório de regularização, os dados de evaporação não são relevantes para a análise e foram apresentados apenas de forma informativa.

Os fatores genéticos dinâmicos são os mesmos para todo o Sul do Brasil, sendo, portanto, a latitude, a altitude, a orientação do relevo e a continentalidade, os fatores estáticos encarregados de caracterizar as diferenças próprias da bacia.

Com relação ao relevo, a bacia tem suas altitudes máximas no seu limite Norte, constituído pela serra do Engano, com altitudes da ordem de 1.000 metros, nos seus divisores.

Com relação aos fatores dinâmicos geradores do clima, os mais importantes são o anticiclone móvel polar da América do Sul e o anticiclone do Atlântico Sul. O Anticiclone polar tem muita importância no clima da região, por constituir uma fonte de ar frio dotado de grande mobilidade. O anticiclone do Atlântico Sul constitui, por sua vez, uma massa de ar tropical marítima, que com sua subsidência inferior e consequente inversão de temperatura, mantém a estabilidade do tempo e a umidade limitada à camada superficial.

Em resumo, ocorre, na bacia, uma predominância de tempo bom com dias ensolarados, interrompidos por sequências de dias chuvosos decorrentes da frente polar, especialmente no inverno e início da primavera, e por dias de chuvas intensas, mas de curta duração, decorrentes de linhas de instabilidade tropical, especialmente no verão e final da primavera.

#### 3.5.1.1. Precipitação

Para a caracterização do regime pluvial da bacia, foram utilizadas as estações pluviométricas indicadas a seguir.

A precipitação total média anual é de aproximadamente 1.630 mm, variando, no período analisado, entre um máximo de 2.892 mm em 1983 e um mínimo de 548 mm em 2005. A sua variação espacial na bacia não é muito acentuada, variando de 1.400 mm a 1.700 mm.

Tabela 13. Postos Pluviométricos.

ESTAÇÃO		RESPONSÁVEL	OPERADORA	PERÍODO DE OPERAÇÃO	
CÓDIGO	IDENTIFICAÇÃO			INÍCIO	FINAL
02649003	Benedito Novo	ANA	EPAGRI	1941	Em operação
02649008	Arrozeira	ANA	EPAGRI	1941	Em operação
02649004	Timbó Novo	ANA	EPAGRI	1929	Em operação

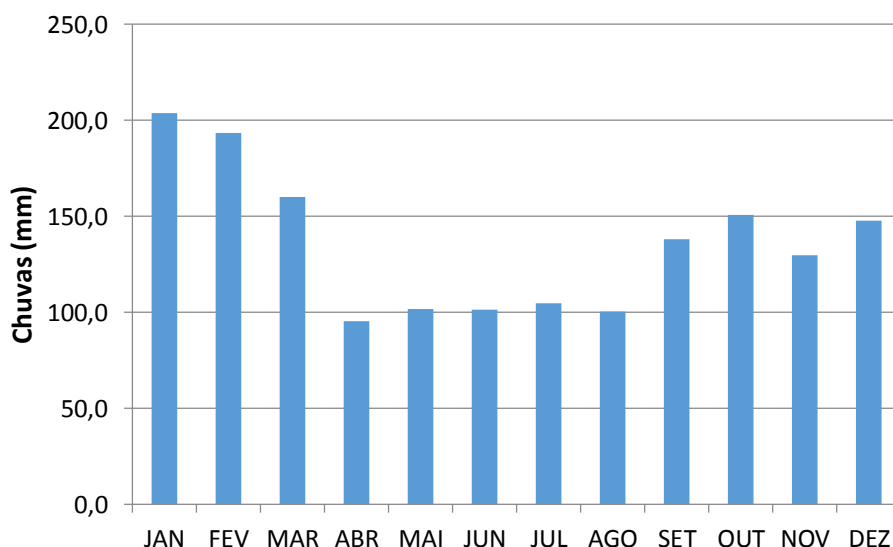
Com relação à variação sazonal, as precipitações totais médias mensais de longo período apresentam máximas relativas nos meses de outubro a março, e mínimas

relativas aos meses de abril a setembro, e em novembro. Entretanto, estas médias não são muito representativas para fins de previsão pluviométrica, uma vez que a variação interanual das precipitações na bacia é muito grande.

Tabela 14. Precipitações Totais Médias na Região do Aproveitamento.

MÊS	MÉDIA	MÁXIMA		MÍNIMA	
	(mm)	(mm)	ANO	(mm)	ANO
JAN	203.7	796	2010	24.5	2005
FEV	193.5	479.6	2011	3.96	2005
MAR	160.2	486.9	1974	14.1	2005
ABR	95.3	273.8	2010	0	1978
MAI	101.7	441	1992	0	1995
JUN	101.5	383.7	2014	2.2	1968
JUL	104.6	566.2	1983	3.4	1991
AGO	100.3	400.1	1984	2.2	1985
SET	138.1	350.5	1998	6.2	1982
OUT	150.5	412	2008	9.7	1974
NOV	129.7	798.1	2008	9	1954
DEZ	147.7	391.3	1980	17.5	1990
ANUAL	1626.6	798.1	2010	0,0	1978

Gráfico 4. Precipitação Média Mensal Região do Aproveitamento.



### 3.5.2. Estudos Fluviométricos

#### 3.5.2.1. *Deflúvios Naturais*

Como já citado, o rio Afluentes é afluente pela margem esquerda do rio Principal. Dessa forma, a estação utilizada como base para obtenção da série de vazões, foi a estação Benedito Novo. As demais estações foram utilizadas para eventuais correções de falhas dos dados da estação Benedito Novo.

Realizado o levantamento das séries históricas de vazões, foi feita uma análise, da qual resultou a tabela 15, em que se destacaram os anos com falha ou falta de dados.

Tabela 15. Falhas nas séries históricas.

Estação/Ano	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949
Benedito																					
Arrozeira																					
Timbó Novo																					
Indaial																					
Estação/Ano	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Benedito																					
Arrozeira																					
Timbó Novo																					
Indaial																					
Estação/Ano	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Benedito																					
Arrozeira																					
Timbó Novo																					
Indaial																					
Estação/Ano	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Benedito																					
Arrozeira																					
Timbó Novo																					
Indaial																					

Fonte: Adaptado, Hidroweb, ANA (2015).

Nas tabelas, os anos em verde indicam que os dados de vazão do ano estão completos; em amarelo, existe pelo menos uma falha em algum mês; e em vermelho, não há dados de vazão naquele ano para o posto.

Foram identificados então os anos comuns entre o posto de Benedito Novo e os demais, para que fosse feita uma correlação, a fim de se descobrir qual o posto proverá os melhores dados para o preenchimento de falhas. A seguir, são expostos as equações obtidas das correlações e os respectivos coeficientes  $R^2$ .

Tabela 16. Correlação dos postos fluviométricos.

Série Comum com Posto Benedito Novo				
Estação	Início	Fim	Equação	$R^2$
Arrozeira	01/01/1934	01/08/1967	$1,0088 * x^{1,0643}$	0,789
Timbó Novo	01/09/1989	01/06/2003	$0,1303 * x^{1,2818}$	0,860
Indaial	01/01/1934	01/08/1967	$0,1929 * x^{0,8575}$	0,751

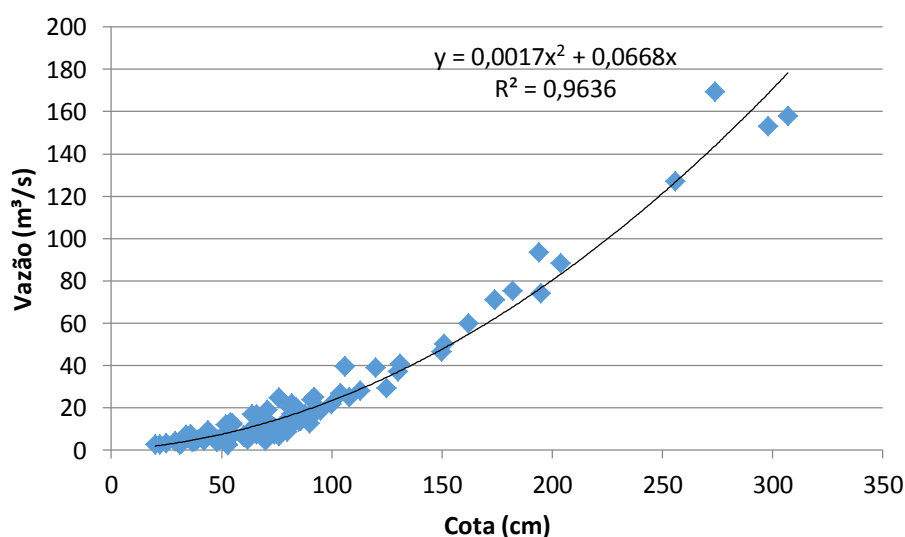
Dessa forma, o preenchimento de falhas do posto de Benedito Novo foi feito baseado na disponibilidade de dados da estação com melhor  $R^2$ . A tabela 17 mostra em quais anos cada correlação foi utilizada.

Tabela 17. Preenchimento de Falhas.

Correlação	Anos
Arrozeira	1929-33; 2005; 2008-09
Timbó Novo	1990;1993; 2003-04

A fim de se estimar a série até o ano presente de 2015, foram levantados os dados de resumo de descarga do posto de Benedito Novo. Estes dados consistem de medições de cota e vazão no posto, o que possibilita o estabelecimento de uma curva chave. Dessa forma, de posse das medições de cota, foi possível calcular as vazões para o preenchimento das falhas do ano de 2005 a 2015. Sabe-se, porém, que a seção do rio varia de acordo com o tempo, mudando a curva chave da seção devido ao transporte de sedimentos, períodos de cheias ou estiagens. Portanto, foram utilizados os dados de resumo de descarga de 1975 até 2006, que propiciaram uma boa correlação, como mostrada no gráfico 5.

Gráfico 5. Curva chave estação Benedito Novo.



A série de vazões médias mensais para o posto de Benedito Novo com suas falhas preenchidas estão presentes no Apêndice A deste trabalho.

De posse das vazões médias mensais no posto de Benedito Novo, foram calculadas as vazões para o local do aproveitamento da CGH Martins. Para tanto, utilizou-se uma correlação entre as áreas de drenagem do posto de Benedito Novo e da CGH Martins, que resultou na seguinte equação.

$$Q_{MAR} = 0,123 \times Q_{BN} \quad (25)$$

Aplicando-se a fórmula, obteve-se a série de vazões exposta no Apêndice A, juntamente com a série para o posto de Benedito Novo. A tabela 18 mostra as vazões máximas, mínimas e médias para cada mês da série histórica.

Tabela 18. Média mensal da vazão – CGH Martins.

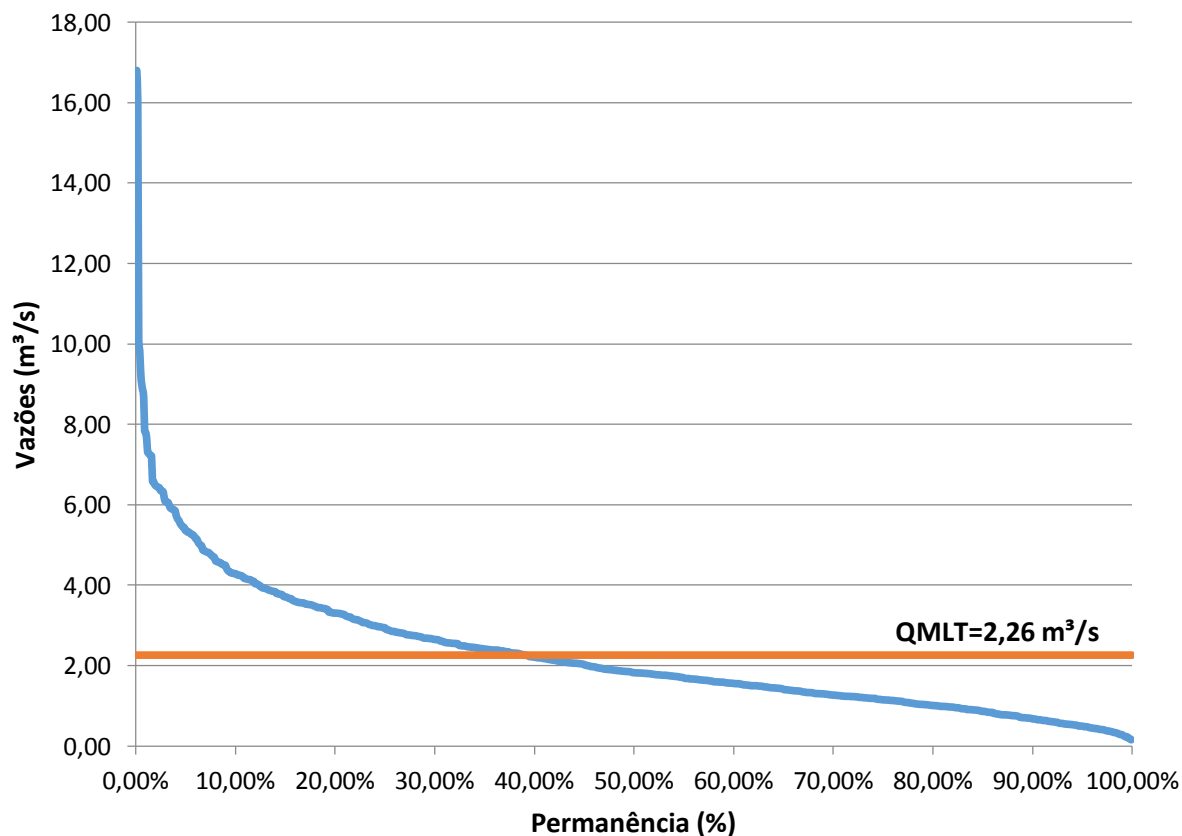
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
<b>Mínima</b>	0,6	0,6	0,6	0,3	0,2	0,2	0,4	0,2	0,4	0,5	0,2	0,2	
<b>Máxima</b>	7,8	9,8	9,0	5,3	6,3	5,7	16,8	8,9	7,8	6,2	7,3	6,4	
<b>Média</b>	2,5	3	2,6	1,8	1,8	1,8	1,9	1,8	2,4	2,9	2,3	2,1	2,26

A curva de permanência foi calculada utilizando-se o já citado critério de Kimball. A tabela 19 e o gráfico 6 mostram os resultados.

Tabela 19. Permanência – CGH Martins

Permanência	Vazão (m³/s)	Permanência	Vazão (m³/s)
0,1%	16,80	50%	1,82
1%	7,80	60%	1,56
2%	6,48	70%	1,26
5%	5,37	80%	1,01
10%	4,29	90%	0,68
20%	3,30	95%	0,49
30%	2,65	98%	0,35
40%	2,21	99%	0,28

Gráfico 6. Curva de Permanência CGH Martins.



### 3.5.2.2. Estudo de Vazões Máximas

O estudo de vazões máximas considerou a vazão máxima registrada em cada ano da série histórica para o posto de Benedito Novo.

Tabela 20. Vazões Máximas Anuais - estação Benedito Novo.

Ano	Máxima (m³/s)	Ano	Máxima (m³/s)
1934	113	1970	132
1935	187	1971	203
1936	119	1972	186
1937	156	1973	294
1938	146	1974	338
1939	352	1975	294
1940	92	1976	196
1941	76	1977	250
1942	174	1978	530
1943	141	1979	328
1944	160	1980	328
1945	123	1981	155
1946	345	1982	202
1947	132	1983	424
1948	263	1984	476
1949	106	1985	235
1950	340	1986	147
1951	123	1987	300
1952	107	1988	202
1953	181	1989	301
1954	293	1990	207
1955	272	1991	239
1956	123	1992	440
1957	228	1993	138
1958	221	1994	298
1959	160	1995	172
1960	188	1996	120
1961	228	1997	193
1962	245	1998	192
1963	184	1999	223
1964	78	2000	186
1965	179	2001	341
1966	169	2002	120
1967	169	2003	63
1968	179	2004	268
1969	203	2005	183

Através do programa QMÁXIMAS da ELETROBRÁS, foi possível calcular as vazões extremas para diversos tempos de retorno para a estação de Benedito Novo. A distribuição escolhida foi a de Gumbel, devido ao valor da assimetria menor do que 1,5.

As vazões calculadas foram transferidas para o eixo da CGH Martins pela mesma relação utilizada para a transferência das vazões médias mensais. A vazão de pico instantânea foi calculada pelo critério de Fuller já descrito na revisão de literatura.

Tabela 21. Vazões Máximas estação Benedito Novo e CGH Martins.

TEMPO DE RECORRÊNCIA (anos)	BENEDITO NOVO (m <sup>3</sup> /s)	PCH BSM (m <sup>3</sup> /s)	PICO INSTANTÂNEO (m <sup>3</sup> /s)
2	219	27	46
5	284	35	59
10	340	42	71
20	394	49	83
50	463	57	97
100	515	63	108
500	636	78	133
1.000	688	85	144
10.000	859	106	180

### 3.5.2.3. Vazão Sanitária

A vazão sanitária foi calculada para a CGH Martins conforme diretrizes a portaria nº 36 de 29 de julho de 2008 da SDS – SC, que norma que a vazão sanitária para aproveitamento hidrelétricos em Santa Catarina é equivalente a 50% da vazão  $Q_{98}$  do rio no local do aproveitamento. Para a curva de permanência calculada anteriormente, a vazão  $Q_{98}$  equivale a 0,35 m<sup>3</sup>/s, sendo, portanto, a vazão sanitária considerada para o aproveitamento igual a 0,17 m<sup>3</sup>/s.

## 3.6. ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

### 3.6.1. Geologia Regional

A avaliação geológica da região tem como objetivo principal o reconhecimento da área do Rio Afluente e a identificação de possíveis interferências das condicionantes locais.

De acordo com o estudo realizado no inventário do Rio Afluente, a região em estudo situa-se na Bacia do Rio Paraná. A Bacia do Rio Paraná é uma bacia intracratônica, preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas cuja idade varia entre o Siluriano e o Cretáceo. Abrange uma área de 1.700.000 km<sup>2</sup>, ocupando cerca de 1.100.000 km<sup>2</sup> do território brasileiro, essencialmente a sua parte meridional.

A evolução da Bacia do Paraná em todos os seus aspectos geológicos está intimamente relacionada com a distribuição do padrão de falhamentos, da situação temporal dos movimentos recorrentes destes falhamentos e do controle estabelecido pelas estruturas instáveis.



### 3.6.2. Aspectos Geológicos-Geotécnicos Locais

O trecho de interesse repousa majoritariamente sobre três unidades litoestratigráficas:

- Formação Mafra (CPm);
- Formação Rio do Sul (Prs); e
- Formação Serra Geral (JKsg)

O local da CGH Martins fica, mais especificamente, sobre a região do Complexo Mafra (com), demarcado na figura. As principais litologias da Formação Mafra são arenitos de coloração esbranquiçada, amarela e vermelha. A granulometria é bastante variada, ocorrendo desde arenitos finos, bem selecionados, com estratificação plano-paralela, em espessos bancos, até arenitos médios e grosseiros com estratificação cruzada acanalada. Secundariamente são encontrados diamictitos, conglomerados, ritmitos, argilitos e argilitos várvidos. Os diamictitos apresentam matriz arenosa e argilosa.

Na parte basal, seus depósitos apresentam características fluviais. Na parte média foram descritos pelecípodos, moluscos e braquiópodos de ambientes marinhos. Na porção superior ainda predominam as condições marinhas, com os arenitos tornando-se finos a muito finos.

### 3.6.3. Geomorfologia Local

A CGH Martins fica assentada sobre a região Atf – Terraço Fluvial, que é caracterizada pela

Acumulação fluvial de forma plana, levemente inclinada, apresentando ruptura em declive em relação ao leito do rio e às várzeas situadas em nível inferior, entalhada devido à mudança de condições de escoamento e consequente retomada de erosão (IBGE, 2004).

## 3.7. ESTUDOS DAS ALTERNATIVAS DE APROVEITAMENTO

### 3.7.1. Parâmetros Econômico-financeiros

Para a análise do IBC incremental os seguintes parâmetros de cálculo foram estabelecidos. O valor da tarifa da venda da energia foi obtido através da média dos vencedores do 22º leilão de energia nova A-3 da ANEEL, realizado em agosto de 2015, cujo resultado pode ser acessado no site da Câmara de Comércio de Energia Elétrica (CCEE). O custo de operação e manutenção por MWh (COM) foi estimado com base em valores praticados no mercado em projetos semelhantes, assim como a taxa de desconto.

A vida útil do projeto foi considerada de 30 anos, correspondente ao tempo de efetivo de geração em uma concessão de 35 anos.

Tabela 22. Parâmetros Econômico-financeiros.

Custo Referência de Energia	R\$ 205,00
Taxa de Desconto (i)	10%
COM	R\$12,00/MWh
Vida Útil (n)	30 anos
FRC	0,106079

### 3.7.2. Alternativa Proposta Em Inventário

O arranjo proposto em inventário consiste de uma barragem de concreto convencional, tendo 3 metros de altura máxima, com 24 metros de extensão, divididos em dois trechos de 12 metros. O circuito hidráulico de adução será composto por:

- Tomada de água do tipo gravidade aliviada, dotada de grade para retenção de detritos e comporta ensecadeira, para fechamento em caso de manutenção;
- Canal com seção trapezoidal de 1,5 m de profundidade e 4 m de largura na base, escavado em solo, com taludes laterais de declividade 1:1,5 e 470 m de extensão;
- Túnel adutor escavado em rocha, com 3 m de diâmetro (diâmetro mínimo construtivo) e 1920 m de extensão;
- Chaminé de equilíbrio em concreto armado, com seção circular de 4,5 m de diâmetro e 8 m de altura; e
- Conduto metálico com seção circular, com 2 m de diâmetro e 160 m de extensão;

A casa de força é do tipo abrigada com duas unidades geradoras equipadas com turbinas tipo Francis, rotor simples de eixo horizontal, acopladas diretamente aos geradores síncronos, trifásicos, previstos para interligação ao sistema. As unidades geradoras terão potência unitária de 1.375 kW, perfazendo uma potência total de 2.750 kW. A vazão turbinada em cada máquina é de 1,8 m³/s, totalizando 3,6 m³/s.

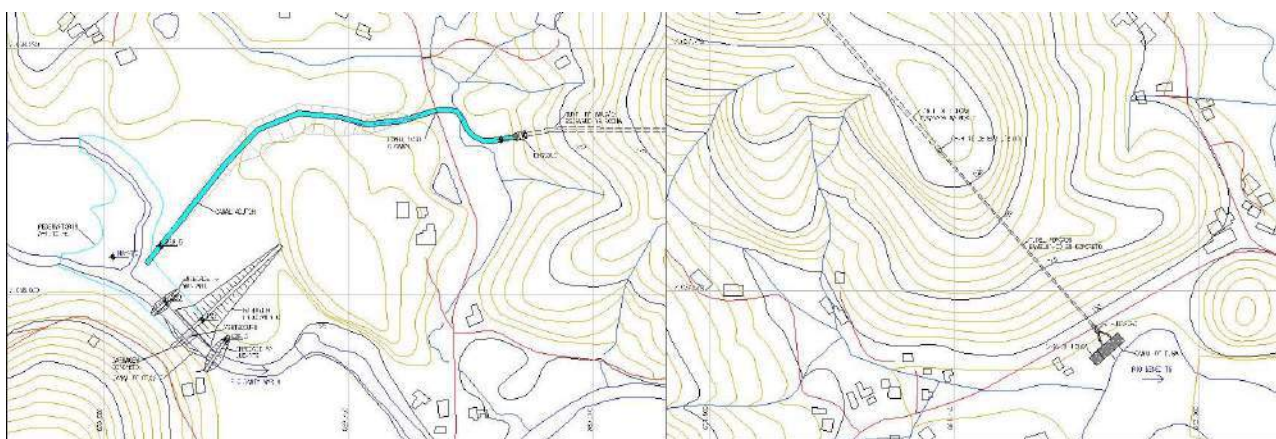


Figura 11. Arranjo CGH Martins  
Fonte: Inventário Rio Afluente, 2001.

### 3.7.3. Localização Eixo do Barramento e Casa de Força

Partindo dos locais propostos pelo estudo de inventário, foram propostas mais duas alternativas para serem estudadas para a localização das estruturas de barramento, que podem ser visualizadas na prancha TCC-001 no Apêndice C deste trabalho. Em todas as alternativas a casa de força permaneceu fixa devido a uma imposição da parte do cliente do projeto, que já possui o terreno onde a casa de força está posicionada. Esta restrição, no entanto, possibilita uma redução dos custos que seriam necessários para desapropriação deste terreno.

Dessa forma, o processo de escolha se resumiu a escolha do local do eixo do barramento, cujas alternativas foram selecionadas com base nas diretrizes já destacadas anteriormente neste trabalho: locais que possibilitem uma menor barragem e um reservatório com menores impactos socioambientais.

Devido à pequena área de drenagem incremental entre as alternativas, a série de vazões médias mensais foi considerada igual para todas as alternativas, fazendo com que o processo de escolha repousasse basicamente sobre o aproveitamento da queda de cada alternativa e dos custos com a desapropriação dos terrenos afetados, com a construção da barragem e circuito hidráulico. A tabela 23 mostra a perda de benefício energético com a mudança do eixo do barramento para mais a jusante no rio.

Tabela 23. Resumo Benefício Energético das Alternativas.

ALTERNATIVA	Níveis de água (m)		Queda bruta (m)	Potência Instalada (MW)	Energia média (MWméd)	Energia média (MWh/ano)	Perda de Receita Bruta (R\$/ano @ R\$ 205/MWh)
	Montante	Jusante					
<b>01 (inventário)</b>	230,00	137,50	92,50	3,00	1,62	14.194	R\$ -
<b>02</b>	219,00	137,50	81,50	3,00	1,49	13.025	R\$ 239.645,00
<b>03</b>	215,00	137,50	77,50	3,00	1,43	12.557	R\$ 335.585,00

A alternativa proposta em inventário, alternativa 01 neste estudo, foi considerada a mais problemática. Apesar de ter o melhor aproveitamento da queda natural do aproveitamento, possuiria o maior reservatório, com elevados custos para desapropriação dos terrenos. O arranjo também possuiria um grande canal de adução e um grande comprimento para o túnel de adução, inviabilizando a alternativa.

Após visitas a campo e conversas com o cliente, a alternativa 03 foi descartada, devido à proximidade com algumas casas que seriam afetadas pela construção da barragem, o que, conseqüentemente, aumentaria e muito o custo com desapropriações.

Dessa forma, a alternativa 02 foi escolhida, porém com algumas alterações. O arranjo final pode ser na prancha TCC-002 no Apêndice C. O eixo foi movido um pouco a montante, possibilitando um melhor encaixe da ombreira esquerda da barragem, e foi necessário um canal de adução de aproximadamente 110 metros para dar a submergência necessária para o túnel de adução. O túnel de adução possui cerca de 1670 metros de comprimento, com uma chaminé de equilíbrio em sua ponta e um conduto forçado de 255 metros de comprimento levando a casa de força.

#### **3.7.4. Tipo de Barragem**

O tipo de barragem proposto em inventário era uma barragem de concreto. As alternativas seriam uma barragem de terra ou uma barragem de enrocamento. Entretanto, estas alternativas acarretariam em barragens com maiores comprimentos e alto custo para suas construções.

Optou-se, portanto, em manter o tipo de barragem proposto no inventário, uma barragem de concreto, porém com o acréscimo de contrafortes, que proporciona uma barragem de pequenas dimensões, ou seja, com custos menores.

Tendo em vista que o plano de sondagens que seria realizado nos locais das estruturas do arranjo selecionado não foi concluído na época de finalização deste trabalho, as características das fundações foram tomadas semelhantes às encontradas na construção de uma PCH no mesmo rio num trecho mais a montante.

Dessa forma, as fundações da barragem serão em rocha sã, o que beneficia o tipo de barragem escolhida. O material residual da escavação do túnel de adução será usado como agregado no concreto da barragem.

### 3.7.5. Altura da Barragem

A partir do eixo de barramento escolhido, a barragem será construída na cota 221. A condição limitante para a cota de inundação é a ponte que se encontra a montante do aproveitamento. Dessa forma, ficou estabelecida que a cota do vertedouro será 223, acarretando em um reservatório com pequeno impacto socioambiental e sem a necessidade de se construir uma nova ponte a montante. A crista da barragem será na cota 225.

### 3.7.6. Potência Instalada

O estudo para determinar a potência instalada procurou confirmar se a potência de 2,75 MW proposta em inventário é a potência ótima para o aproveitamento. Dessa forma, é possível se simular o aumento da potência para 3 MW ou mais, confirmando-se se o aproveitamento se enquadrará como CGH ou PCH.

Tabela 24. Estudo da Potência Instalada – CGH Martins.

Potência Instalada (MW)	Custo Incremental (R\$)	Benefício Incremental (R\$)	ICB
2,5	-	-	-
<b>2,75</b>	<b>R\$ 22.430,52</b>	<b>R\$ 56.947,07</b>	<b>2,54</b>
3	R\$ 73.894,27	R\$ 50.651,55	0,69
3,25	R\$ 42.654,34	R\$ 38.733,25	0,91

Conforme resultado mostrado na tabela 24, a mudança de 2,5 MW para 2,75 MW instalados é viável. Porém, o aumento seguinte para 3 MW se torna inviável, vide o valor do ICB menor do que 1.

Conclui-se, portanto, que a potencia proposta de 2,75 MW é a potência ideal a ser instalada.

### 3.7.7. Túnel de Adução

O túnel de adução para a CGH Martins possui 1670 metros de comprimento e o diâmetro proposto em inventário é o diâmetro mínimo construtivo de 3 metros para uma seção arco retangular. Devido ao grande comprimento, o túnel é escavado em rocha, sem a revestimento. A análise do IBC para o aumento do diâmetro é apresentada na tabela 25.

Tabela 25. IBC incremental – Túnel de Adução.

Ø (m)	Custo Anual (R\$)	Benefício Anual (R\$)	IBC
3	R\$ 2.233.715,37	R\$ 2.347.186,49	1,051
3,5	R\$ 2.369.383,57	R\$ 2.351.171,74	0,992
4	R\$ 2.525.747,81	R\$ 2.352.763,58	0,932

A conclusão da análise mostra que os custos relativos ao aumento das dimensões do túnel de adução são muito maiores do que o benefício energético incremental resultante. Isso se deve ao fato de a escavação do túnel ser em rocha sã, o que encarece a construção, e a grande extensão do mesmo.

### 3.7.8. Conduto Forçado

O conduto forçado da CGH Martins possuirá cerca de 255 metros de comprimento e tem um diâmetro inicial de 2 metros. A tabela 26 mostra o resultado da análise do IBC.

Tabela 26. IBC incremental – Conduto Forçado.

Ø (m)	Custo Incremental (R\$)	Benefício Incremental (R\$)	IBC
2	-	-	-
2,5	R\$ 16.394,30	R\$ 492,83	0,03
3	R\$ 16.373,30	R\$ 133,97	0,01

A conclusão da análise mostra que o diâmetro adotado no inventário é o diâmetro mais adequado. O aumento do diâmetro do conduto forçado é inviável devido ao baixo benefício incremental consequente, visto que a diminuição da perda de carga é ínfima.

### 3.7.9. Chaminé de Equilíbrio

A necessidade da chaminé de equilíbrio foi determinada de acordo com os critérios propostos em ELETRBRÁS (2000) e ELETROBRÁS (2003). A relação entre o comprimento do conduto forçado e a queda bruta obtida foi a seguinte é apresentada a seguir.

$$\frac{L_{cf}}{H_b} = \frac{1760}{85,5} = 20,58$$

De acordo com o critério de Canabara proposto em ELETROBRÁS (2003), considerando a CGH Martins uma pequena usina com pequeno reservatório, como a relação é maior que 10:1, seria necessária a construção de uma chaminé de equilíbrio.

Entretanto, de acordo com o critério da constante de aceleração do escoamento no conduto forçado, a chaminé de equilíbrio não é necessária, visto que o valor obtido foi menor do que 3.

$$t_h = \frac{L_{cf} \times V_{cf}}{g \times H_b} = \frac{1760 \times 1,18}{9,81 \times 85,5} = 2,48 < 3$$

Dessa forma, deverão ser realizados estudos mais aprofundados para se atestar a real necessidade ou não da chaminé de equilíbrio para amortecer os efeitos causados

pelo golpe de aríete ocasionado pela parada das unidades geradoras. Como medida a favor da segurança, a chaminé de equilíbrio proposta em inventário será mantida.

### 3.8. ARRANJO ESCOLHIDO

As análises incrementais realizadas mostram que os diâmetros do túnel de adução e do conduto forçado já são os diâmetros mais adequados para o aproveitamento. A única mudança realizada foi em relação ao eixo do barramento para uma posição a jusante da proposta em inventário, que resultou numa melhor relação entre os custos com a desapropriação de terrenos para o reservatório e a perda de benefício energético com a consequente diminuição da queda bruta.

O arranjo final selecionado consiste de:

- Uma barragem de concreto em contrafortes com 2 metros de altura e 52 metros de comprimento, com contrafortes a cada 2,5 metros.
- A estrutura de tomada d'água foi embutida no eixo do barramento.
- Canal de adução com seção trapezoidal de 1,5 m de profundidade e 4 m de largura na base, escavado em solo, com taludes laterais de declividade 1:1,5 e 110 metros de extensão e uma comporta em seu final para manutenção e limpeza;
- Túnel adutor escavado em rocha, com 3 m de diâmetro (diâmetro mínimo construtivo) e 1670 metros de extensão;
- Chaminé de equilíbrio em concreto armado, com seção circular de 4,5 m de diâmetro e 8 m de altura; e
- Conduto metálico com seção circular, com 2 metros de diâmetro e 255 metros de extensão;

O arranjo final selecionado pode ser visualizado na prancha TCC-002 no Apêndice C, assim como o perfil da barragem de contraforte.

#### 4. VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA

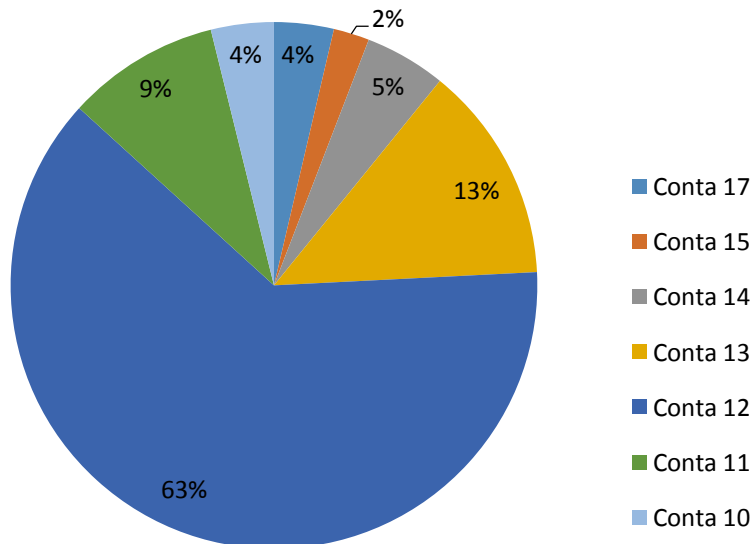
A análise final da viabilidade econômico-financeira da CGH Martins é feita dividindo-se o custo total estimado para o aproveitamento pelo número de MW gerados em um ano, MWh.

O orçamento Padrão Eletrobrás (OPE) do arranjo final é apresentado no Apêndice B deste documento. Os quantitativos foram obtidos por meio da topografia existente do local e das dimensões calculadas para as estruturas. O valor total para a construção da CGH Martins foi de R\$ 20.254.559,00, considerados os juros durante a construção de 9,86%, o que equivale a R\$ 246,04 /MWh.

Este valor de R\$ 246,04 /MWh indica a inviabilidade do aproveitamento, tendo em vista que o valor obtido foi maior do que a tarifa de referência utilizada, no valor de R\$ 205,00. O IBC obtido foi de 0,88, comprovando-se a conclusão da inviabilidade do empreendimento.

A inviabilidade da CGH Martins se deve majoritariamente pelo elevado custo atrelado a construção do grande túnel de adução, com 1670 metros de comprimento, que acarreta em altos valores para sua escavação.

Gráfico 7. Curva chave estação Benedito Novo.



O gráfico 7 mostra que a conta 12 – Barragens e Adutoras mostra que 63% do preço total do aproveitamento está atrelado a construção da barragem e do circuito hidráulico.



## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O crescimento da representação das fontes renováveis na matriz elétrica brasileira e o fortalecimento das mesmas passam pela elaboração adequada de estudos de viabilidade e projetos básicos, cada vez mais precisos quanto a seu impacto e capacidade de geração, buscando a otimização do aproveitamento.

Este trabalho buscou reunir as metodologias propostas pelos órgãos brasileiros responsáveis em suas bibliografias correspondentes, assim como de autores cujas obras são consagradas, e aplicá-las ao aproveitamento CGH Martins. Diferentemente do aproveitamento estudado, é grande a quantidade de inventários que se encontram desatualizados devido a inúmeros motivos, entre os quais a antropização da região do aproveitamento, alteração do regime fluviométrico ou imprecisão de dados topográficos e/ou geológicos.

As conclusões da análise do índice custo-benefício para a CGH Martins mostram que seria necessária a alteração da localização do eixo do barramento para um trecho a jusante do proposto em inventário, de forma a proporcionar um reservatório com menor custo. Diferentemente do eixo do barramento, as dimensões do circuito hidráulico propostas em inventário se mostram as mais adequadas, obtendo IBC maior do que 1 em relação às alternativas. O custo do MWh gerado acarretou em um valor de R\$ 246,04 /MWh ou um IBC de 0,88. Esta inviabilidade se deve, principalmente, ao grande comprimento necessário para o túnel de adução.

### 5.1. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizadas as análises, são propostas algumas recomendações para trabalhos futuros, assim como para a realização do Projeto Básico do aproveitamento.

- Na época da realização deste trabalho, um novo levantamento topográfico da região de interesse estava sendo realizado. Sugere-se realizar novos estudos para a localização do eixo do barramento e altura da barragem a partir deste.
- A fim de se obter valores mais acurados para o OPE, principalmente no que se refere aos equipamentos eletromecânicos, é necessário realizar orçamentos com fornecedores conhecidos no mercado.
- Na época da realização do estudo, o Brasil estava passando por uma crise no setor energético, o que distorce o valor da tarifa de emergência. Um estudo mais aprofundado das tarifas praticadas no mercado e estimadas

para o futuro é necessário para correta avaliação da viabilidade do aproveitamento.

- Não fazia parte do escopo deste trabalho o estudo do tipo de turbina selecionado para o aproveitamento. Sugere-se, para o correto dimensionamento da casa de força e estimativa do custo, realizar este estudo, assim como diferentes locais para a casa de força, que, a pedido do cliente, foi mantida fixa.
- Na época de realização deste trabalho, um plano de sondagens estava sendo realizado em pontos estratégicos para o arranjo selecionado, porém não havia sido concluído até a data de termino. Sugere-se refazer o quantitativo de escavações necessárias e de tratamento das fundações de acordo com o resultado.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Matriz de energia elétrica.**

Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm> >.  
Acesso em: 20 abr 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia do Brasil, 3ª Ed.** Brasília, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia do Brasil, 2ª Ed.** Brasília, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Capacidade de Geração do Brasil, 2015.** Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm> >.  
Acesso em: 20 abr 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Guia do Empreendedor de Pequenas Centrais Hidrelétricas.** Brasília, 2003. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/Guia\\_empreendedor.pdf](http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/Guia_empreendedor.pdf) >.  
Acesso em: 20 abr 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Nº 393, de 4 de Dezembro de 1998.** Brasília. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/bres1998393.pdf> >.  
Acesso em: 07 out 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 343, de 9 de Dezembro de 2008.** Brasília. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2008343.pdf> >.  
Acesso em: 07 out 2015.

ASSIS, A. P.; HERNANDEZ, H.M.; COLMANETTI, J.P. **Apostila de Barragens.** Brasília: UNB/ENC-PPG, 2006. 180 p. Apostila.

BRASIL. **Lei nº 13.097, 19 de janeiro de 2015.** Capítulo VII, Seção I, Das Pequenas Centrais Hldrelétricas. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2015/lei-13097-19-janeiro-2015-780071-normaatualizada-pl.pdf> >.  
Acesso em: 20 abr 2015.

BRASIL. **Lei nº 9.427, DE 26 DE DEZEMBRO DE 1996.** Capítulo V, Das Disposições Finais e Transitórias em: <http://www.camara.gov.br/sileg/integras/596942.pdf> >.  
Acesso em: 24 ago 2015.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Portaria nº 463, de 3 de Dezembro de 2009.** Publicado no D.O. de 04.12.2009, seção 1, p. 74, v. 146, n. 232. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/prt2009463mme.pdf> >  
Acesso em 19 out 2015.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas**. Ministério de Minas e Energia, CEPEL. Rio de Janeiro: E-papers, 2007. 684 p. :il.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**: Mecânica das Rochas – Fundações – Obras de Terra. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1987. 6ª Edição.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. – ELETROBRAS. **Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Rio de Janeiro. Eletrobrás, 2000.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. – ELETROBRAS. **Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas**. Rio de Janeiro. Eletrobrás, 2003.

CRUZ, P. T. **100 Barragens Brasileiras: casos históricos, materiais de construção e projeto**. São Paulo, Oficina de Textos, 1996.

DEINFRA. **Mapa Rodoviário de Santa Catarina**. Santa Catarina, 2015. Disponível em: < [http://www.deinfra.sc.gov.br/download/mapas\\_rodoviaros/alta.jpg](http://www.deinfra.sc.gov.br/download/mapas_rodoviaros/alta.jpg) >. Acesso em: 01 jul 2015.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FLÓREZ, R. O. **Pequenas Centrais Hidrelétricas**. São Paulo. Editora Oficina de Textos, 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Key World Energy Statistics, 2014**. Disponível em: < <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2014.pdf> >. Acesso em: 20 abr 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Sobre o INMET**. Disponível em: < [http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=sobre\\_inmet](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=sobre_inmet) >. Acesso em: 01 out 2015.

JÚNIOR, Antenor Rodrigues Barbosa. **Elementos de Hidrologia Aplicada: notas de aula**. Ouro Preto: UFOP/DECIV, 2015. Disponível em: < <http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodriques/index.php?menu=3&disc=101> >. Acesso em 14 out 2015

PEREIRA, G. M. **Projeto de Usinas Hidrelétricas Passo a Passo**. São Paulo, Oficina de Textos, 2015.

PORTAL PCH. **Fluxograma de Implantação de uma PCH**. Disponível em: < [http://www.portalpch.com.br/images/pdf/Fluxograma\\_de\\_implantacao\\_de\\_PCH.pdf](http://www.portalpch.com.br/images/pdf/Fluxograma_de_implantacao_de_PCH.pdf) > Acesso em: 07 out 2015.

PORTAL PCH. **Fluxograma de Atividades para Estudos e Projeto Básico de PCH**. Disponível em: < [http://www.portalpch.com.br/images/pdf/Fluxograma\\_de\\_atividades\\_para\\_estudos\\_e\\_projeto\\_basico\\_de\\_PCH.pdf](http://www.portalpch.com.br/images/pdf/Fluxograma_de_atividades_para_estudos_e_projeto_basico_de_PCH.pdf) >

Acesso em: 07 out 2015.

SANTA CATARINA. **Lei nº 14.675, 13 de abril de 2009.** Institui Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências. Florianópolis, 2009. Disponível em < <http://200.192.66.20/ALESC/PesquisaDocumentos.asp> >  
Acesso em: 27 ago 2015.

SCHREIBER, G. P. **Usinas Hidrelétricas.** Edgard Blucher Ltda/Engevix, 1977.

STANO, Angelo. **Vazão Sanitária.** APROER, 2013. Disponível em < <http://aproer.org.br/wp-content/uploads/2014/12/VAZ%C3%83O-SANIT%C3%81RIA.pdf> >  
Acesso em 27 ago 2015.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. **O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local.** Revista Uniara, v.20, p.137-157, 2007.

TUCCI, C. E. M. 1997. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Hydraulic Design Criteria.** Vickburg, 1973 (revista em 1977). Disponível em: < <http://chl.erdc.usace.army.mil/hdc> >.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

## APÊNDICE A – VAZÕES MÉDIAS MENSAIS

A tabela a seguir apresenta as vazões médias mensais calculadas para o posto de Benedito Novo, seguida pela tabela apresentando as vazões médias mensais para a CGH Martins.

Tabela 27. Vazões Médias Mensais – Benedito Novo.

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (m³/s)													
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1931	43,3	14,7	22,3	13,0	34,7	26,9	16,7	13,0	44,4	17,8	10,6	21,5	23,2
1932	19,4	33,2	20,0	20,7	15,8	7,5	5,8	9,1	13,5	24,3	21,7	24,5	18,0
1933	12,2	23,1	9,2	12,0	17,1	8,0	6,4	7,0	19,2	28,2	11,8	10,0	13,7
1934	29,0	38,5	10,5	15,3	4,6	1,5	3,0	2,3	7,1	12,6	3,4	7,5	11,3
1935	5,0	5,1	7,3	4,2	1,6	4,2	3,3	8,7	25,5	48,6	9,6	11,1	11,2
1936	38,7	7,8	6,2	5,3	5,7	15,5	4,4	36,0	29,9	17,7	10,0	8,0	15,4
1937	9,7	20,2	23,9	31,2	19,0	8,7	4,3	11,3	6,8	27,8	24,1	8,0	16,2
1938	29,0	19,4	13,4	24,8	22,2	28,0	19,1	8,9	10,1	9,8	8,0	11,1	17,0
1939	11,7	9,7	21,8	14,4	14,8	10,9	7,0	4,3	27,7	17,8	59,0	42,6	20,1
1940	27,5	15,0	11,8	18,5	9,1	5,4	5,7	16,8	6,4	13,6	11,1	14,4	13,0
1941	16,0	18,7	10,4	7,9	12,3	16,0	5,6	11,1	10,1	13,3	20,7	19,2	13,4
1942	12,1	51,2	25,6	28,5	18,8	23,0	17,7	16,8	14,3	10,5	14,7	14,4	20,6
1943	9,0	14,4	7,9	5,8	14,7	31,1	21,8	36,8	22,1	21,4	13,5	10,3	17,4
1944	18,8	18,0	26,5	10,2	6,0	4,3	3,1	7,9	10,9	9,8	19,8	12,7	12,3
1945	7,8	37,4	11,5	10,9	4,8	4,6	15,1	5,1	16,2	28,9	13,6	17,9	14,5
1946	35,1	79,9	52,1	17,4	10,0	27,8	20,9	17,3	9,3	19,4	8,1	14,5	26,0
1947	19,5	44,2	21,8	7,6	12,5	12,0	18,4	20,1	41,3	50,0	26,1	25,7	24,9
1948	37,3	44,7	34,9	19,9	30,2	8,3	8,1	25,4	11,0	9,2	12,6	4,8	20,5
1949	9,6	4,8	14,3	20,3	5,5	15,1	5,3	11,3	14,5	8,8	9,6	8,3	10,6
1950	19,7	17,9	40,4	12,7	10,5	10,2	4,4	5,2	18,7	26,8	6,3	14,6	15,6
1951	14,1	33,6	20,2	6,2	3,3	2,9	4,9	2,0	3,5	29,3	16,6	10,0	12,2
1952	9,3	10,2	8,0	3,5	2,6	9,6	6,5	3,7	15,0	20,7	24,1	12,2	10,4
1953	21,8	18,7	15,0	10,3	10,3	5,7	5,4	5,3	9,2	30,8	34,6	17,0	15,3
1954	16,7	22,4	30,6	28,6	40,7	21,2	20,0	9,7	16,9	42,2	9,6	6,8	22,1
1955	8,3	7,6	11,4	12,9	28,0	16,8	31,9	12,3	24,2	7,2	8,2	11,7	15,0
1956	23,9	18,6	9,4	17,4	27,9	12,8	10,8	12,9	19,4	19,6	9,4	5,9	15,7
1957	15,2	15,5	18,8	19,7	28,7	19,9	52,6	58,6	63,6	23,9	19,6	22,8	29,9
1958	12,7	43,6	59,4	19,8	15,7	23,1	7,7	14,6	24,0	17,0	24,1	30,6	24,4
1959	32,8	28,8	13,3	19,6	13,8	6,1	4,2	11,0	26,0	11,6	7,2	5,2	15,0
1960	17,3	28,5	23,1	16,6	9,3	6,1	4,0	36,7	13,5	20,0	38,2	20,2	19,5
1961	18,0	31,9	30,6	10,4	10,9	12,6	7,3	3,9	46,6	37,0	53,4	17,4	23,3
1962	10,1	13,5	19,9	8,1	9,4	6,9	8,5	5,4	22,1	19,9	14,7	10,6	12,4
1963	20,8	38,3	39,6	14,0	5,6	3,7	9,0	4,0	22,7	35,4	37,3	21,6	21,0
1964	7,3	14,0	13,1	12,1	16,4	10,8	11,4	10,2	20,1	17,6	9,3	11,6	12,8
1965	22,1	9,3	8,8	11,3	33,9	14,2	22,0	17,2	19,5	22,9	23,0	43,6	20,6

Tabela 28. Vazões Médias Mensais – Benedito Novo (CONTINUAÇÃO).

VAZÕES MÉDIAS MENCIAIS (m³/s)													
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1966	33,6	62,2	26,6	39,1	16,7	22,3	13,5	7,9	23,4	32,7	21,5	18,1	26,5
1967	17,2	53,5	27,0	10,1	6,6	11,8	15,1	5,0	16,5	15,8	24,4	24,0	18,9
1968	15,2	9,8	8,4	9,3	3,5	4,4	3,0	2,9	13,5	18,7	10,0	7,7	8,9
1969	16,2	24,8	19,7	42,9	15,3	46,1	24,2	12,9	11,7	13,1	31,4	10,0	22,4
1970	16,0	19,4	18,7	14,3	9,4	19,7	26,8	13,3	13,3	17,8	11,7	28,9	17,4
1971	58,6	30,1	51,6	24,5	25,5	28,3	20,4	8,4	11,7	25,0	6,2	4,0	24,5
1972	8,8	26,8	25,3	15,4	4,4	10,7	8,6	33,8	31,9	32,8	22,9	27,6	20,7
1973	17,8	27,8	12,1	12,3	13,6	26,8	21,2	49,3	34,3	28,2	15,0	14,8	22,8
1974	34,5	28,9	73,1	15,2	1,4	2,7	17,5	2,6	15,4	3,8	1,9	3,5	16,7
1975	8,4	6,1	15,1	11,1	10,8	11,2	10,0	24,9	34,2	43,2	29,2	52,3	21,4
1976	21,7	18,3	33,3	11,2	26,9	33,7	14,8	19,5	14,7	12,6	13,3	14,6	19,5
1977	20,8	20,0	24,3	20,9	6,2	3,9	6,3	15,0	9,8	48,0	29,5	15,8	18,4
1978	12,7	14,3	29,8	3,3	2,1	2,8	7,3	10,3	18,0	12,5	12,3	30,7	13,0
1979	5,3	9,5	10,8	12,6	34,9	10,6	12,3	10,5	15,6	40,5	36,6	21,2	18,4
1980	18,2	25,5	22,8	12,6	9,7	9,9	28,6	29,7	26,5	23,5	26,8	52,2	23,9
1981	30,2	28,5	15,7	9,0	6,3	4,2	8,6	7,1	7,9	21,6	18,8	26,2	15,3
1982	10,8	32,7	21,7	13,9	15,5	19,0	20,8	13,7	9,7	27,9	47,8	24,9	21,5
1983	32,5	26,3	36,6	16,8	45,7	43,2	136,5	34,4	27,9	22,7	15,3	35,6	39,5
1984	12,9	9,2	21,7	14,0	15,5	19,2	15,9	71,9	21,3	19,5	33,5	14,7	22,4
1985	7,5	20,3	12,3	29,3	7,8	4,0	4,5	1,9	8,1	6,9	14,7	1,9	9,9
1986	4,6	17,0	7,3	11,9	3,9	3,6	3,9	4,9	16,7	17,0	15,2	29,7	11,3
1987	39,2	47,8	10,6	7,7	31,2	24,4	12,6	14,1	18,3	22,3	8,6	6,1	20,2
1988	19,0	20,8	12,3	10,0	47,6	19,0	8,0	3,7	17,9	20,7	8,9	5,6	16,1
1989	47,5	35,2	17,5	16,4	29,1	9,2	11,2	9,3	27,1	10,0	4,7	13,2	19,2
1990	63,3	19,2	16,6	24,3	13,1	27,5	26,1	24,7	25,1	39,6	19,4	12,6	26,0
1991	18,5	9,6	6,0	2,2	1,2	14,3	4,9	23,2	5,7	30,1	23,3	15,6	12,9
1992	9,1	28,4	14,2	6,8	51,5	31,4	38,0	23,1	18,3	10,3	8,5	4,8	20,4
1993	13,0	21,0	19,5	13,3	19,1	9,7	19,8	5,1	37,1	32,3	10,5	13,3	17,8
1994	7,4	42,4	39,4	13,2	31,3	29,1	40,9	15,5	8,0	22,3	30,8	17,0	24,8
1995	59,1	48,1	26,6	8,2	5,3	11,4	19,4	11,3	12,2	16,0	14,9	10,6	20,3
1996	16,7	18,0	29,0	22,6	6,2	19,2	22,4	10,6	27,0	21,5	16,1	11,9	18,4
1997	41,8	37,1	16,7	7,0	5,4	16,3	13,4	13,9	11,7	49,1	52,9	20,8	23,8
1998	28,4	31,7	41,8	39,3	14,3	8,4	20,6	49,3	49,3	36,5	12,9	10,0	28,5
1999	16,9	25,9	18,7	17,9	8,2	20,6	34,5	7,4	14,7	33,7	12,4	10,8	18,5
2000	20,2	22,5	12,9	5,6	2,4	4,0	4,5	4,3	33,9	33,3	14,0	12,8	14,2
2001	23,6	34,8	24,9	13,2	22,4	17,0	13,8	8,4	22,8	34,4	8,5	9,1	19,4
2002	7,7	8,1	7,5	6,8	4,4	3,2	6,6	13,9	13,5	14,2	26,8	20,7	11,1
2003	6,3	6,4	7,5	3,1	2,7	2,3	3,5	2,4	3,3	6,5	3,6	10,3	4,8
2004	7,3	7,2	5,1	5,7	8,1	7,3	15,7	6,3	21,5	42,6	14,4	25,2	13,9
2005	45,5	8,3	4,9	10,2	14,8	9,1	8,7	15,1	12,2	25,6	17,5	7,3	14,9
2006	9,8	5,6	8,3	4,4	3,0	2,7	3,3	5,0	4,0	10,8	14,7	14,1	7,2
2007	18,6	16,3	17,3	12,0	45,0	8,2	12,7	6,3	12,9	14,6	14,5	22,2	16,7
2008	19,4	26,8	14,4	21,8	10,5	12,2	15,3	13,6	12,2	16,8	22,3	16,9	16,8

Tabela 29. Vazões Médias Mensais – Benedito Novo (CONTINUAÇÃO).

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (m³/s)													
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
2009	11,7	11,9	9,9	9,4	10,0	12,2	15,3	13,6	12,2	31,2	21,0	14,8	14,4
2010	52,5	26,7	32,3	51,5	44,2	32,0	30,5	22,9	7,9	23,5	11,6	39,1	31,2
2011	34,8	70,7	38,9	17,7	11,1	8,8	34,9	75,3	130,4	14,1	15,4	11,8	38,7
2012	28,7	13,5	6,8	9,1	12,7	30,0	31,6	16,6	6,3	11,6	7,0	8,2	15,2
2013	9,9	8,4	10,5	6,8	6,1	26,1	31,5	22,4	43,0	19,4	17,6	10,4	17,7
2014	21,9	12,9	31,8	12,1	11,2	82,0	14,2	9,6	16,0	14,1	8,8	14,7	20,8
2015	17,7	12,9	14,6										15,1

Mínima	4,6	4,8	4,9	2,2	1,2	1,5	3,0	1,9	3,3	3,8	1,9	1,9
Máxima	63,3	79,9	73,1	51,5	51,5	82,0	136,5	75,3	130,4	50,0	59,0	52,3
Média	20,9	24,0	20,5	14,8	15,2	15,2	15,9	15,6	20,4	22,8	18,1	16,6

As vazões em azul foram calculadas a partir do posto Arrozeira; as em vermelho, Timbó Novo; e as em amarelo foram calculadas a partir da curva chave obtida com os dados de resumo de descarga.

Tabela 30. Vazões Médias Mensais – CGH Martins.

VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (m³/s)													
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1931	5,3	1,8	2,7	1,6	4,3	3,3	2,1	1,6	5,5	2,2	1,3	2,6	2,9
1932	2,4	4,1	2,5	2,5	1,9	0,9	0,7	1,1	1,7	3,0	2,7	3,0	2,2
1933	1,5	2,8	1,1	1,5	2,1	1,0	0,8	0,9	2,4	3,5	1,5	1,2	1,7
1934	3,6	4,7	1,3	1,9	0,6	0,2	0,4	0,3	0,9	1,6	0,4	0,9	1,4
1935	0,6	0,6	0,9	0,5	0,2	0,5	0,4	1,1	3,1	6,0	1,2	1,4	1,4
1936	4,8	1,0	0,8	0,6	0,7	1,9	0,5	4,4	3,7	2,2	1,2	1,0	1,9
1937	1,2	2,5	2,9	3,8	2,3	1,1	0,5	1,4	0,8	3,4	3,0	1,0	2,0
1938	3,6	2,4	1,7	3,1	2,7	3,4	2,3	1,1	1,2	1,2	1,0	1,4	2,1
1939	1,4	1,2	2,7	1,8	1,8	1,3	0,9	0,5	3,4	2,2	7,3	5,3	2,5
1940	3,4	1,9	1,5	2,3	1,1	0,7	0,7	2,1	0,8	1,7	1,4	1,8	1,6
1941	2,0	2,3	1,3	1,0	1,5	2,0	0,7	1,4	1,2	1,6	2,6	2,4	1,7
1942	1,5	6,3	3,2	3,5	2,3	2,8	2,2	2,1	1,8	1,3	1,8	1,8	2,5
1943	1,1	1,8	1,0	0,7	1,8	3,8	2,7	4,5	2,7	2,6	1,7	1,3	2,1
1944	2,3	2,2	3,3	1,3	0,7	0,5	0,4	1,0	1,3	1,2	2,4	1,6	1,5
1945	1,0	4,6	1,4	1,3	0,6	0,6	1,9	0,6	2,0	3,6	1,7	2,2	1,8
1946	4,3	9,8	6,4	2,1	1,2	3,4	2,6	2,1	1,1	2,4	1,0	1,8	3,2
1947	2,4	5,4	2,7	0,9	1,5	1,5	2,3	2,5	5,1	6,2	3,2	3,2	3,1
1948	4,6	5,5	4,3	2,5	3,7	1,0	1,0	3,1	1,4	1,1	1,5	0,6	2,5
1949	1,2	0,6	1,8	2,5	0,7	1,9	0,7	1,4	1,8	1,1	1,2	1,0	1,3
1950	2,4	2,2	5,0	1,6	1,3	1,3	0,5	0,6	2,3	3,3	0,8	1,8	1,9
1951	1,7	4,1	2,5	0,8	0,4	0,4	0,6	0,2	0,4	3,6	2,0	1,2	1,5
1952	1,1	1,3	1,0	0,4	0,3	1,2	0,8	0,5	1,9	2,5	3,0	1,5	1,3
1953	2,7	2,3	1,8	1,3	1,3	0,7	0,7	0,7	1,1	3,8	4,3	2,1	1,9
1954	2,1	2,8	3,8	3,5	5,0	2,6	2,5	1,2	2,1	5,2	1,2	0,8	2,7



Tabela 31. Vazões Médias Mensais – CGH Martins (CONTINUAÇÃO).

VAZÕES MÉDIAS MENCIAIS (m³/s)													
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1955	1,0	0,9	1,4	1,6	3,4	2,1	3,9	1,5	3,0	0,9	1,0	1,4	1,9
1956	2,9	2,3	1,2	2,1	3,4	1,6	1,3	1,6	2,4	2,4	1,2	0,7	1,9
1957	1,9	1,9	2,3	2,4	3,5	2,5	6,5	7,2	7,8	2,9	2,4	2,8	3,7
1958	1,6	5,4	7,3	2,4	1,9	2,8	0,9	1,8	3,0	2,1	3,0	3,8	3,0
1959	4,0	3,6	1,6	2,4	1,7	0,7	0,5	1,4	3,2	1,4	0,9	0,6	1,8
1960	2,1	3,5	2,8	2,0	1,1	0,8	0,5	4,5	1,7	2,5	4,7	2,5	2,4
1961	2,2	3,9	3,8	1,3	1,3	1,5	0,9	0,5	5,7	4,6	6,6	2,1	2,9
1962	1,2	1,7	2,5	1,0	1,2	0,9	1,0	0,7	2,7	2,4	1,8	1,3	1,5
1963	2,6	4,7	4,9	1,7	0,7	0,5	1,1	0,5	2,8	4,4	4,6	2,7	2,6
1964	0,9	1,7	1,6	1,5	2,0	1,3	1,4	1,3	2,5	2,2	1,1	1,4	1,6
1965	2,7	1,1	1,1	1,4	4,2	1,8	2,7	2,1	2,4	2,8	2,8	5,4	2,5
1966	4,1	7,7	3,3	4,8	2,1	2,7	1,7	1,0	2,9	4,0	2,6	2,2	3,3
1967	2,1	6,6	3,3	1,2	0,8	1,5	1,9	0,6	2,0	1,9	3,0	3,0	2,3
1968	1,9	1,2	1,0	1,1	0,4	0,5	0,4	0,4	1,7	2,3	1,2	0,9	1,1
1969	2,0	3,1	2,4	5,3	1,9	5,7	3,0	1,6	1,4	1,6	3,9	1,2	2,8
1970	2,0	2,4	2,3	1,8	1,2	2,4	3,3	1,6	1,6	2,2	1,4	3,6	2,1
1971	7,2	3,7	6,4	3,0	3,1	3,5	2,5	1,0	1,4	3,1	0,8	0,5	3,0
1972	1,1	3,3	3,1	1,9	0,5	1,3	1,1	4,2	3,9	4,0	2,8	3,4	2,6
1973	2,2	3,4	1,5	1,5	1,7	3,3	2,6	6,1	4,2	3,5	1,8	1,8	2,8
1974	4,2	3,6	9,0	1,9	0,2	0,3	2,2	0,3	1,9	0,5	0,2	0,4	2,1
1975	1,0	0,8	1,9	1,4	1,3	1,4	1,2	3,1	4,2	5,3	3,6	6,4	2,6
1976	2,7	2,3	4,1	1,4	3,3	4,1	1,8	2,4	1,8	1,6	1,6	1,8	2,4
1977	2,6	2,5	3,0	2,6	0,8	0,5	0,8	1,9	1,2	5,9	3,6	1,9	2,3
1978	1,6	1,8	3,7	0,4	0,3	0,3	0,9	1,3	2,2	1,5	1,5	3,8	1,6
1979	0,6	1,2	1,3	1,6	4,3	1,3	1,5	1,3	1,9	5,0	4,5	2,6	2,3
1980	2,2	3,1	2,8	1,5	1,2	1,2	3,5	3,7	3,3	2,9	3,3	6,4	2,9
1981	3,7	3,5	1,9	1,1	0,8	0,5	1,1	0,9	1,0	2,7	2,3	3,2	1,9
1982	1,3	4,0	2,7	1,7	1,9	2,3	2,6	1,7	1,2	3,4	5,9	3,1	2,7
1983	4,0	3,2	4,5	2,1	5,6	5,3	16,8	4,2	3,4	2,8	1,9	4,4	4,9
1984	1,6	1,1	2,7	1,7	1,9	2,4	2,0	8,9	2,6	2,4	4,1	1,8	2,8
1985	0,9	2,5	1,5	3,6	1,0	0,5	0,6	0,2	1,0	0,8	1,8	0,2	1,2
1986	0,6	2,1	0,9	1,5	0,5	0,4	0,5	0,6	2,1	2,1	1,9	3,7	1,4
1987	4,8	5,9	1,3	0,9	3,8	3,0	1,5	1,7	2,3	2,7	1,1	0,8	2,5
1988	2,3	2,6	1,5	1,2	5,9	2,3	1,0	0,5	2,2	2,6	1,1	0,7	2,0
1989	5,9	4,3	2,1	2,0	3,6	1,1	1,4	1,1	3,3	1,2	0,6	1,6	2,4
1990	7,8	2,4	2,0	3,0	1,6	3,4	3,2	3,0	3,1	4,9	2,4	1,5	3,2
1991	2,3	1,2	0,7	0,3	0,2	1,8	0,6	2,9	0,7	3,7	2,9	1,9	1,6
1992	1,1	3,5	1,7	0,8	6,3	3,9	4,7	2,8	2,3	1,3	1,0	0,6	2,5
1993	1,6	2,6	2,4	1,6	2,4	1,2	2,4	0,6	4,6	4,0	1,3	1,6	2,2
1994	0,9	5,2	4,8	1,6	3,9	3,6	5,0	1,9	1,0	2,7	3,8	2,1	3,0
1995	7,3	5,9	3,3	1,0	0,6	1,4	2,4	1,4	1,5	2,0	1,8	1,3	2,5
1996	2,1	2,2	3,6	2,8	0,8	2,4	2,8	1,3	3,3	2,6	2,0	1,5	2,3
1997	5,1	4,6	2,1	0,9	0,7	2,0	1,6	1,7	1,4	6,0	6,5	2,6	2,9

Tabela 32. Vazões Médias Mensais – CGH Martins (CONTINUAÇÃO).

<b>VAZÕES MÉDIAS MENCIAIS (m³/s)</b>													
<b>ANO</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OUT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEZ</b>	<b>Média</b>
<b>1998</b>	3,5	3,9	5,2	4,8	1,8	1,0	2,5	6,1	6,1	4,5	1,6	1,2	3,5
<b>1999</b>	2,1	3,2	2,3	2,2	1,0	2,5	4,2	0,9	1,8	4,1	1,5	1,3	2,3
<b>2000</b>	2,5	2,8	1,6	0,7	0,3	0,5	0,6	0,5	4,2	4,1	1,7	1,6	1,7
<b>2001</b>	2,9	4,3	3,1	1,6	2,8	2,1	1,7	1,0	2,8	4,2	1,0	1,1	2,4
<b>2002</b>	0,9	1,0	0,9	0,8	0,5	0,4	0,8	1,7	1,7	1,7	3,3	2,6	1,4
<b>2003</b>	0,8	0,8	0,9	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,8	0,4	1,3	0,6
<b>2004</b>	0,9	0,9	0,6	0,7	1,0	0,9	1,9	0,8	2,7	5,2	1,8	3,1	1,7
<b>2005</b>	5,6	1,0	0,6	1,3	1,8	1,1	1,1	1,9	1,5	3,2	2,2	0,9	1,8
<b>2006</b>	1,2	0,7	1,0	0,5	0,4	0,3	0,4	0,6	0,5	1,3	1,8	1,7	0,9
<b>2007</b>	2,3	2,0	2,1	1,5	5,5	1,0	1,6	0,8	1,6	1,8	1,8	2,7	2,1
<b>2008</b>	2,4	3,3	1,8	2,7	1,3	1,5	1,9	1,7	1,5	2,1	2,7	2,1	2,1
<b>2009</b>	1,4	1,5	1,2	1,2	1,2	1,5	1,9	1,7	1,5	3,8	2,6	1,8	1,8
<b>2010</b>	6,5	3,3	4,0	6,3	5,4	3,9	3,8	2,8	1,0	2,9	1,4	4,8	3,8
<b>2011</b>	4,3	8,7	4,8	2,2	1,4	1,1	4,3	9,3	16,1	1,7	1,9	1,4	4,8
<b>2012</b>	3,5	1,7	0,8	1,1	1,6	3,7	3,9	2,0	0,8	1,4	0,9	1,0	1,9
<b>2013</b>	1,2	1,0	1,3	0,8	0,8	3,2	3,9	2,8	5,3	2,4	2,2	1,3	2,2
<b>2014</b>	2,7	1,6	3,9	1,5	1,4	10,1	1,8	1,2	2,0	1,7	1,1	1,8	2,6
<b>2015</b>	2,2	1,6	1,8										1,9

<b>Mínima</b>	0,6	0,6	0,6	0,3	0,2	0,2	0,4	0,2	0,4	0,5	0,2	0,2	
<b>Máxima</b>	7,8	9,8	9,0	5,3	6,3	5,7	16,8	8,9	7,8	6,2	7,3	6,4	
<b>Média</b>	2,5	3,0	2,6	1,8	1,8	1,8	1,9	1,8	2,4	2,9	2,3	2,1	

**APÊNDICE B – OPE CGH MARTINS**

## Estudo de Viabilidade

LOCALIZAÇÃO	
Rio	Afluente
Bacia	-
Região	Sul
Município	-
Estado	Santa Catarina

## ESTIMATIVA DE CUSTO

**Aproveitamento: CGH MARTINS**

Alternativa: ESTUDO DE VIABILIDADE

Energia Firme	=	1,310 MW
Potência Instalada	=	2,750 MW

Casa de Força com |  
2 MáquinaS FRANCIS, EIXO HORIZONTAL

Preços de OUTUBRO/ 2015

Taxa de Câmbio =  
3,906 R \$ = 1 US\$

Prog.:

Data:

04-nov-15

Cálculo: DTM

Verificação:

CONTA	DISCRIMINAÇÃO	un	Qtdade	Custo Unitário R\$	Custo Total R\$	Custo Unitário US\$	Custo Total US\$
.10.	TERRENOS, RELOCAÇÕES E OUTRAS AÇÕES SÓCIO-AMBIENTAIS				711.150	0,00	182.066
.10.10	AQUISIÇÃO DE TERRENOS E BENFEITORIAS				273.000	0,00	69.892
.10.10.11	PROPRIEDADES RURAIS	gl			273.000	0,00	69.892
.10.10.11.10	Reservatório	ha	1,6	30.000,00	48.000	7.680,49	12.289
.10.10.11.11	Canteiro, Acampamento, Jazidas e Áreas Afins	ha	3,0	50.000,00	150.000	12.800,82	38.402
.10.10.11.40	Unidades de Conservação e Áreas de Preservação Permanente	ha	2,5	30.000,00	75.000	7.680,49	19.201
.10.10.11.41	Reassentamento Rural	ha			0	0,00	0
.10.10.11.42	Comunidades Indígenas e outros grupos étnicos	ha			0	0,00	0
.10.10.11.43	Cidades e Vilas	gl			0	0,00	0
.10.10.11.44	Infra-Estrutura Econômica e Social Isolada	gl			0	0,00	0
.10.10.11.17	Outros custos	gl			0	0,00	0
.10.10.12	DESPESAS LEGAIS E DE AQUISIÇÃO	gl			0	0,00	0
.10.10.13	OUTROS CUSTOS	gl			0	0,00	0
.10.11	RELOCAÇÕES				0	0,00	0
.10.11.14	ESTRADAS DE RODAGEM	km			0	0,00	0
.10.11.15	ESTRADAS DE FERRO	km			0	0,00	0
.10.11.16	PONTES	m			0	0,00	0
.10.11.18	SISTEMA DE TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO	gl			0	0,00	0
.10.11.19	SISTEMA DE COMUNICAÇÃO	gl			0	0,00	0
.10.11.20	RELOCAÇÕES DE POPULAÇÃO	gl			0	0,00	0
.10.11.20.41	Reassentamento Rural	gl			0	0,00	0
.10.11.20.42	Comunidades Indígenas e outros grupos étnicos	gl			0	0,00	0
.10.11.20.43	Cidades e Vilas	gl			0	0,00	0
.10.11.20.44	Infra-Estrutura Econômica e Social Isolada	gl			0	0,00	0
.10.11.20.17	Outros custos	gl			0	0,00	0
.10.11.21	OUTRAS RELOCAÇÕES	gl			0	0,00	0
.10.11.13	OUTROS CUSTOS	gl			0	0,00	0
.10.15	OUTRAS AÇÕES SÓCIO-AMBIENTAIS				373.500	0,00	95.622
.10.15.44	COMUNICAÇÃO SÓCIO-AMBIENTAL	gl			0	0,00	0
.10.15.45	MEIO FÍSICO-BIÓTICO	gl			53.500	0,00	13.697
.10.15.45.18	Limpeza do Reservatório	ha	0,7	5.000,00	3.500	1.280,08	896
.10.15.45.40	Unidades de Conservação e Áreas de Preservação Permanente	ha			0	0,00	0
.10.15.45.45	Conservação da Flora	gl			0	0,00	0
.10.15.45.47	Qualidade da Água	gl			0	0,00	0
.10.15.45.48	Recuperação de Áreas Degradadas	gl	1,0	50.000,00	50.000	12.800,82	12.801
.10.15.45.17	Outros custos	gl			0	0,00	0
.10.15.46	MEIO SÓCIO-ECONÔMICO-CULTURAL	gl			20.000	0,00	5.120
.10.15.46.42	Comunidades Indígenas e outros grupos étnicos	gl			0	0,00	0
.10.15.46.49	Saúde e Saneamento Básico	gl			0	0,00	0
.10.15.46.50	Estrutura Habitacional e Educacional	gl			0	0,00	0
.10.15.46.51	Salvamento do Patrimônio Cultural	gl			0	0,00	0
.10.15.46.52	Apoio aos Municípios	gl	1	10.000,00	10.000	2.560,16	2.560
.10.15.46.17	Outros custos	gl	1	10.000,00	10.000	2.560,16	2.560

CONTA	DISCRIMINAÇÃO	un	Qtidade	Custo Unitário	Custo Total	Custo Unitário	Custo Total
				R\$	R\$	US\$	US\$
.10.15.47	LICENCIAMENTO E GESTÃO INSTITUCIONAL	gl			300.000	0,00	76.805
.10.15.47.53	Licenciamento	gl	1	150.000,00	150.000	38.402,46	38.402
.10.15.47.55	Gestão Institucional	gl	1	100.000,00	100.000	25.601,64	25.602
.10.15.47.17	Outros custos	gl	1	50.000,00	50.000	12.800,82	12.801
.10.15.48	USOS MÚLTIPLOS	gl			0	0,00	0
.10.15.13	OUTROS CUSTOS	gl			0	0,00	0
.10.27	EVENTUAIS DA CONTA .10	gl	10%		64.650	165.514,59	16.551
						0,00	0
.11.	<b>ESTRUTURAS E OUTRAS BENFEITORIAS</b>				1.731.202	0,00	443.216
.11.12	BENFEITORIAS NA ÁREA DA USINA	MW	2,75		36.900	0,00	9.447
.11.13	CASA DE FORÇA				1.536.920	0,00	393.477
.11.13.00.12	Escavação	gl	850		26.700	0,00	6.836
.11.13.00.12.10	Comum	m³	300	12,00	3.600	3,07	922
.11.13.00.12.11	Em Rocha a céu aberto	m³	550	42,00	23.100	10,75	5.914
.11.13.00.13	Limpeza e tratamento de fundação	gl		0,00	0	0,00	0
.11.13.00.14	Concreto	m³	660	2.025,00	1.336.500	518,43	342.166
.11.13.00.14.13	Cimento	t	198	550,00	108.900	140,81	27.880
.11.13.00.14.14	Concreto sem Cimento	m³	660	600,00	396.000	153,61	101.382
.11.13.00.14.15	Armadura	t	132	6.300,00	831.600	1.612,90	212.903
.11.13.00.15	Instalações e acabamentos	gl			173.720	0,00	44.475
.11.13.00.15.10	Alvenaria (paredes)	m²	310	192,24	59.594	49,22	15.257
.11.13.00.15.11	Cobertura	m²	286	119,32	34.126	30,55	8.737
.11.13.00.15.12	Esquadrias/Instal.Eletricas e Hidraulicas/Banheiros	gl	1	80.000,00	80.000	20.481,31	20.481
.11.27	EVENTUAIS DA CONTA .11	gl	10%		157.382	402.923,69	40.292
						0,00	0
.12.	<b>BARRAGENS E ADUTORAS</b>				11.533.347	0,00	2.952.726
.12.16	DESVIO DO RIO				892.384	0,00	228.465
.12.16.22	ENSECADEIRAS	gl			19.734	0,00	5.052
.12.16.22.19	Ensecadeira de rocha e terra	m³	1.560	8,00	12.480	2,05	3.195
.12.16.22.21	Remoção de ensecadeiras	gl	780	6,00	4.680	1,54	1.198
.12.16.22.22	Esgotamento e outros custos	gl	15%		2.574	4.393,24	659
.12.16.24.	CANAL OU GALERIA / ADUFA DE DESVIO	gl			872.650	0,00	223.413
.12.16.24.12	Escavação	m³	1.200		35.400	0,00	9.063
.12.16.24.12.10	Comum	m³	1.200	12,00	14.400	3,07	3.687
.12.16.24.12.11	Em rocha a céu aberto	m³	500	42,00	21.000	10,75	5.376
.12.16.24.12.12	Em rocha subterrânea	m³		250,00	0	64,00	0
.12.16.24.13	Limpeza e tratamento de fundação	gl	1	20.000,00	20.000	5.120,33	5.120
.12.16.24.14	Concreto	m³			767.250	0,00	196.429
.12.16.24.14.13	Cimento	t	165	550,00	90.750	140,81	23.233
.12.16.24.14.14	Concreto sem Cimento	m³	550	600,00	330.000	153,61	84.485
.12.16.24.14.15	Armadura	t	55	6.300,00	346.500	1.612,90	88.710
.12.16.24.23.	Equipamento de fechamento	gl			50.000	0,00	12.801
.12.16.24.23.17	Stoplogs	gl	1	50.000,00	50.000	12.800,82	12.801
.12.16.24.17	Outros custos	gl		0,00	0	0,00	0

CONTA	DISCRIMINAÇÃO	un	Qtdade	Custo Unitário	Custo Total	Custo Unitário	Custo Total
				R\$	R\$	US\$	US\$
.12.17	BARRAGENS E DIQUES				702.030	0,00	179.731
.12.17.25	BARRAGENS E DIQUES DE TERRA E ENROCAMENTO	gl			0	0,00	0
.12.17.25.12	Escavação	m³			0	0,00	0
.12.17.25.12.10	Comum	m³		0,00	0	0,00	0
.12.17.25.12.11	Em rocha a céu aberto	m³		0,00	0	0,00	0
.12.17.25.13	Limpeza e tratamento de fundação	gl		50.000,00	0	12.800,82	0
.12.17.25.24	Aterro compactado	m³		0,00	0	0,00	0
.12.17.25.25	Enrocamento	m³		0,00	0	0,00	0
.12.17.25.26	Núcleo de argila	m³		0,00	0	0,00	0
.12.17.25.29	Transições / Filtros	m³		0,00	0	0,00	0
.12.17.25.32	Proteção de taludes	gl			0	0,00	0
.12.17.25.32.18	Talude de montante (Enrocamento)	m³		0,00	0	0,00	0
.12.17.25.32.19	Talude de jusante (grama)	m2		0,00	0	0,00	0
.12.17.25.17	Outros custos	gl			0	0,00	0
.12.17.26	BARRAGENS DE CONCRETO	gl			459.030	0,00	117.519
.12.17.26.12	Escavação	m³	400		7.800	0,00	1.997
.12.17.26.12.10	Comum	m³	300	12,00	3.600	3,07	922
.12.17.26.12.11	Em rocha a céu aberto	m³	100	42,00	4.200	10,75	1.075
.12.17.26.13	Limpeza e tratamento de fundação	gl	1	10.000,00	10.000	2.560,16	2.560
.12.17.26.14.	Concreto	m³	200	1.997,50	399.500	511,39	102.279
.12.17.26.14.13	Cimento	t	50	550,00	27.500	140,81	7.040
.12.17.26.14.14a	Concreto sem Cimento (convencional)	m³	200	600,00	120.000	153,61	30.722
.12.17.26.14.14b	Concreto sem Cimento (CCR)	m³		0,00	0	0,00	0
.12.17.26.14.15	Armadura	t	40	6.300,00	252.000	1.612,90	64.516
.12.17.26.17	Outros custos	gl	10%		41.730	0,00	10.684
.12.17.27	TRANSIÇÕES E MUROS DE CONCRETO	gl			243.000	0,00	62.212
.12.17.27.12	Escavação	m³	0		0	0,00	0
.12.17.27.12.10	Comum	m³		0,00	0	0,00	0
.12.17.27.12.11	Em rocha a céu aberto	m³		0,00	0	0,00	0
.12.17.27.13	Limpeza e tratamento de fundação	gl		0,00	0	0,00	0
.12.17.27.14	Concreto	m³	120	2.025,00	243.000	518,43	62.212
.12.17.27.14.13	Cimento	t	36	550,00	19.800	140,81	5.069
.12.17.27.14.14a	Concreto sem Cimento (convencional)	m³	120	600,00	72.000	153,61	18.433
.12.17.27.14.14b	Concreto sem Cimento (CCR)	m³		0,00		0,00	0
.12.17.27.14.15	Armadura	t	24	6.300,00	151.200	1.612,90	38.710
.12.17.27.17	Outros custos			200,00	0	51,20	0
.12.18	VERTEDOUROS				0	0,00	0
.12.18.28	VERTEDOUROS DE SUPERFÍCIE	gl			0	0,00	0
.12.18.28.12	Escavação	m³			0	0,00	0
.12.18.28.12.10	Comum	m³		0,00	0	0,00	0
.12.18.28.12.11	Em rocha a céu aberto	m³		0,00	0	0,00	0
.12.18.28.13	Limpeza e tratamento de fundação	gl		50.000,00	0	12.800,82	0

CONTA	DISCRIMINAÇÃO	un	Qtdade	Custo Unitário	Custo Total	Custo Unitário	Custo Total
				R\$	R\$	US\$	US\$
.12.18.28.14.	Concreto	m³		0,00	0	0,00	0
.12.18.28.14.13	Cimento	t		0,00	0	0,00	0
.12.18.28.14.14a	Concreto sem Cimento (convencional)	m³		0,00	0	0,00	0
.12.18.28.14.14b	Concreto sem Cimento (CCR)	m³		250,00	0		
.12.18.28.14.15	Armadura	t		0,00	0	0,00	0
.12.18.28.23	Equipamentos	gl			0	0,00	0
.12.18.28.23.16	Comportas e guinchos	gl	0		0	0,00	0
.12.18.28.23.17	Stoplogs	gl	0	0,00	0	0,00	0
.12.18.28.23.20	Guindaste	gl				0,00	0
.12.18.28.17	Outros custos	gl	5%		0	0,00	0
.12.18.29	VERTEDOUROS DE FUNDO E OUTROS	gl			0	0,00	0
.12.18.29.12	Escavação	m³	0		0	0,00	0
.12.18.29.12.10	Comum	m³		0,00	0	0,00	0
.12.18.29.12.11	Em rocha a céu aberto	m³		0,00	0	0,00	0
.12.18.29.13	Limpeza e tratamento de fundação	gl		0,00	0	0,00	0
.12.18.29.14	Concreto	m³	0	0,00	0	0,00	0
.12.18.29.14.13	Cimento	t	0	0,00	0	0,00	0
.12.18.29.14.14	Concreto sem Cimento (convencional)	m³			0	0,00	0
.12.18.29.14.15	Concreto sem Cimento (CCR)	m³		0,00	0	0,00	0
.12.18.29.14.15	Armadura	t	0	6.300,00	0	24.607,80	0
.12.18.29.23	Equipamentos	gl			0	0,00	0
.12.18.29.23.16	Comportas e guinchos	gl			0	0,00	0
.12.18.29.23.17	Stoplogs	gl			0	0,00	0
.12.18.29.23.20	Guindaste	gl			0	0,00	0
.12.18.29.17	Outros custos	gl	2%		0	0,00	0
.12.19	TOMADA D'ÁGUA E ADUTORAS				8.890.272	0,00	2.276.055
.12.19.30	TOMADA D'ÁGUA	gl			263.555	0,00	67.474
.12.19.30.12	Escavação	m³	1.800		21.600	0,00	5.530
.12.19.30.12.10	Comum	m³	1.800	12,00	21.600	46,87	5.530
.12.19.30.12.11	Em rocha a céu aberto	m³		0,00	0	0,00	0
.12.19.30.13	Limpeza e tratamento de fundação	gl		0,00	0	0,00	0
.12.19.30.14	Concreto	m³	50	1.269,00	63.450	4.956,71	16.244
.12.19.30.14.13	Cimento	t	15	550,00	8.250	2.148,30	2.112
.12.19.30.14.14	Concreto sem Cimento	m³	50	600,00	30.000	2.343,60	7.680
.12.19.30.14.15	Armadura	t	4	6.300,00	25.200	24.607,80	6.452
.12.19.30.23	Equipamentos	gl			170.000	0,00	43.523
.12.19.30.23.16	Comportas e guinchos	gl			0	0,00	0
.12.19.30.23.17	Stoplogs	gl	1	120.000,00	120.000	468.720,00	30.722
.12.19.30.23.20	Guindaste	gl	1	50.000,00	50.000	195.300,00	12.801
.12.19.30.23.21	Grades e Limpa-grades	gl			0	0,00	0
.12.19.30.17	Outros custos	gl	10%		8.505	0,00	2.177
						0,00	0
						0,00	0



CONTA	DISCRIMINAÇÃO	un	Qtidade	Custo Unitário R\$	Custo Total R\$	Custo Unitário US\$	Custo Total US\$
.12.19.31	CANAL DE ADUÇÃO	gl			375.705	0,00	96.187
.12.19.31.12	Escavação	m³	2.145		75.240	0,00	19.263
.12.19.31.12.10	Comum	m³	495	12,00	5.940	3,07	1.521
.12.19.31.12.11	Em rocha a céu aberto	m³	1.650	42,00	69.300	10,75	17.742
.12.19.31.13	Limpeza e tratamento de fundação	gl		0,00	0	0,00	0
.12.19.31.14	Concreto	m³	248	1.214,00	300.465	310,80	76.924
.12.19.31.14.13	Cimento	t	50	550,00	27.225	140,81	6.970
.12.19.31.14.14	Concreto sem Cimento	m³	248	600,00	148.500	153,61	38.018
.12.19.31.14.15	Armadura	t	20	6.300,00	124.740	1.612,90	31.935
.12.19.31.17	Outros custos	gl			0	0,00	0
.12.19.32	CONDUTO ADUTOR	gl			3.211.700	0,00	822.248
.12.19.32.12	Escavação	m³	1.250		2.961.700	0,00	758.244
.12.19.32.12.10	Comum	m³	1.000	12,00	12.000	3,07	3.072
.12.19.32.12.11	Em rocha a céu aberto	m³	250	42,00	10.500	10,75	2.688
.12.19.32.12.12	Em rocha subterrânea	m³	13360	220,00	2.939.200	56,32	752.483
.12.19.32.13	Limpeza e tratamento de fundação	gl	1	250.000,00	250.000	64.004,10	64.004
.12.19.32.14	Concreto	m³	0	0,00	0	0,00	0
.12.19.32.14.13	Cimento	t	0	0,00	0	0,00	0
.12.19.32.14.14	Concreto sem Cimento	m³		0,00	0	0,00	0
.12.19.32.14.15	Armadura	t	0	0,00	0	0,00	0
.12.19.32.17	Outros custos	t			0	0,00	0
.12.19.33	CHAMINÉS DE EQUILÍBRIO	gl			219.525	0,00	56.202
.12.19.33.12	Escavação	m³	1.500		40.500	0,00	10.369
.12.19.33.12.10	Comum	m³	750	12,00	9.000	3,07	2.304
.12.19.33.12.11	Em rocha a céu aberto	m³	750	42,00	31.500	10,75	8.065
.12.19.33.13	Limpeza e tratamento de fundação	gl		0,00	0	0,00	0
.12.19.33.14	Concreto	m³	150	1.193,50	179.025	305,56	45.833
.12.19.33.14.13	Cimento	t	38	550,00	20.625	140,81	5.280
.12.19.33.14.14	Concreto sem Cimento	m³	150	300,00	45.000	76,80	11.521
.12.19.33.14.15	Armadura	t	18	6.300,00	113.400	1.612,90	29.032
.12.19.33.17	Outros custos (revestimento interno da chaminé em aço)	t		9.450,00	0	2.419,35	0
.12.19.34.	CONDUTO FORÇADO	gl			R\$ 4.563.887,47	0,00	1.168.430
.12.19.34.12	Escavação	m³	961		11.536	0,00	2.953
.12.19.34.12.10	Comum	m³	801	12,00	9.613	3,07	2.461
.12.19.34.12.11	Em rocha a céu aberto	m³	160	12,00	1.923	3,07	492
.12.19.34.12.11	Em rocha subterrânea	m³		220,00	0	56,32	0
.12.19.34.13	Limpeza e tratamento de fundação	gl		0,00	0	0,00	0
.12.19.34.14	Concreto	m³	1.951	1.682,50	3.282.438	430,75	840.358
.12.19.34.14.13	Cimento	t	488	550,00	268.253	140,81	68.677
.12.19.34.14.14	Concreto sem Cimento	m³	1.951	600,00	1.170.557	153,61	299.682
.12.19.34.14.15	Armadura	t	293	6.300,00	1.843.628	1.612,90	471.999
.12.19.34.23	Equipamento	gl			1.271.836	0,00	325.611
.12.19.34.23.23	Revestimento metálico	t	134,59	9.450,00	1.271.836	2.419,35	325.611

CONTA	DISCRIMINAÇÃO	un	Qtidade	Custo Unitário R\$	Custo Total R\$	Custo Unitário US\$	Custo Total US\$
.12.19.34.23.24	Equipamento (Válvula)	gl			0	0,00	0
.12.19.34.17	Outros custos	gl			0	0,00	0
.12.19.35	CANAL DE FUGA	gl			255.900	0,00	65.515
.12.19.35.12	Escavação	m³	2.200		56.400	0,00	14.439
.12.19.35.12.10	Comum	m³	1.200	12,00	14.400	3,07	3.687
.12.19.35.12.11	Em rocha a céu aberto	m³	1.000	42,00	42.000	10,75	10.753
.12.19.35.13	Limpeza e tratamento de fundação	gl		0,00	0	0,00	0
.12.19.35.14	Concreto	m³	200	997,50	199.500	255,38	51.075
.12.19.35.14.13	Cimento	t	30	550,00	16.500	140,81	4.224
.12.19.35.14.14	Concreto sem Cimento	m³	200	600,00	120.000	153,61	30.722
.12.19.35.14.15	Armadura	t	10	6.300,00	63.000	1.612,90	16.129
.12.19.35.17	Outros custos	gl			0	0,00	0
.12.20.37	OUTRAS CONSTRUÇÕES ESPECIAIS (Escada de Peixe)				0	0,00	0
.12.20.37.12	Escavação	m³	0		0	0,00	0
.12.20.37.12.10	Comum	m³		0,00	0	0,00	0
.12.20.37.12.11	Em rocha a céu aberto	m³		0,00	0	0,00	0
.12.20.37.13	Limpeza e tratamento de fundação	gl		0,00	0	0,00	0
.12.20.37.14	Concreto	m³	0	0,00	0	0,00	0
.12.20.37.14.13	Cimento	t		0,00	0	0,00	0
.12.20.37.14.14	Concreto sem Cimento	m³		0,00	0	0,00	0
.12.20.37.14.15	Armadura	t		0,00	0	0,00	0
.12.20.37.17	Outros custos	gl			0	0,00	0
.12.27.98	EVENTUAIS DA CONTA .12 obras civis	gl	10%	8.994.773,03	899.477	2.302.809,28	230.281
.12.27.99	EVENTUAIS DA CONTA .12 equipamentos	gl	10%	1.491.836,09	149.184	381.934,48	38.193
						0,00	0
<b>.13.</b>	<b>TURBINAS E GERADORES</b>				2.460.133	0,00	629.834
.13.13.00.23.28	Turbinas 1375kW/un. 720 rpm inclusive válvula borboleta	un	2	R\$ 614.665,33	1.229.331	157.364,39	314.729
.13.13.00.23.17	Stoplogs	gl			0	0,00	0
.13.13.00.23.20	Guindaste	gl			0	0,00	0
.13.13.00.23.29	Geradores 1475 kVA/un. 720 rpm	gl	2	556.826,44	1.113.653	142.556,69	285.113
						0,00	0
.13.27	EVENTUAIS DA CONTA .13	gl	5%		117.149	599.842,18	29.992
						0,00	0
<b>.14.</b>	<b>EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS ACESSÓRIOS</b>				920.000	0,00	235.535
.14.00.00.23.30	Equipamento Elétrico Acessório	gl			800.000	0,00	204.813
.14.27	EVENTUAIS DA CONTA .14	gl	10%	1.200.000,00	120.000	307.219,66	30.722
						0,00	0
<b>.15.</b>	<b>DIVERSOS EQUIPAMENTOS DA USINA</b>				405.922	0,00	103.923
.15.13.00.23.20	Ponte rolante	gl			0	0,00	0
.15.00.00.23.31	Equipamentos diversos	gl	1	369.019,91	369.020	94.475,14	94.475
						0,00	0
.15.27	EVENTUAIS DA CONTA .15	gl	10%	369.019,91	36.902	94.475,14	9.448

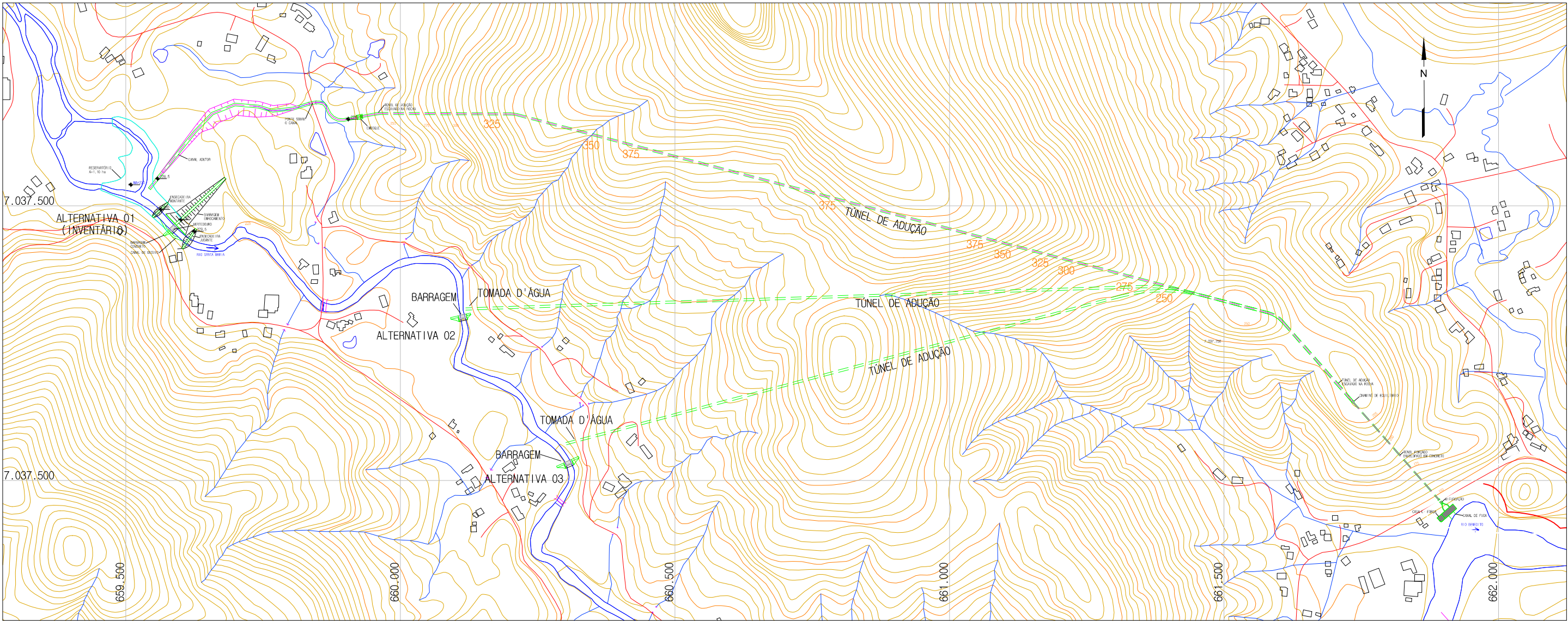
[illegible]

CONTA	DISCRIMINAÇÃO	un	Qtidade	Custo Unitário R\$	Custo Total R\$	Custo Unitário US\$	Custo Total US\$
<p><b>R E S U M O</b></p> <p><b>Aproveitamento: CGH MARTINS</b></p> <p>Potência Instalada 2,75 MW</p> <p>Energia Firme 1,31 MWmédio</p> <p>Custo Total do Empreendimento 5.185 x 1000 US\$ (Ref. OUTUBRO/2015)</p> <p>Vida Útil 50 anos, Taxa de Retorno de 10% a.a e O &amp; M = Critério ELETROBRÁS</p> <p>Custo - Geração (Energia Firme) 246,04 R\$/MWh</p>							

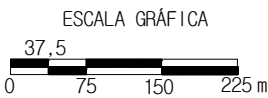
**INVESTIMENTOS EM SUBESTAÇÃO E LINHA DE TRANSMISSÃO**

CONTA	DISCRIMINAÇÃO	un	Qtidade	Custo Unitário R\$	Custo Total R\$	Custo Unitário US\$	Custo Total US\$
	Subestação de 2,3kV -> 23 kV	un	1	100.000,00	100.000	25.601,64	25.602
	Linha de Transmissão de 23kV	km	0,100	100.000,00	10.000	25.601,64	2.560
	<b>Investimento Total (Subestação + Linha de Transmissão)</b>	gl			<b>110.000</b>		<b>28.162</b>
<p>Preços de OUTUBRO/ 2015</p> <p>Custo Total em R\$</p> <p>Custo Total em US\$</p>							
	<b>INVESTIMENTO TOTAL em Usina, Subestação e Linha de Transmissão</b>				<b>20.364.559</b>		<b>5.213.661</b>

**APÊNDICE C – DESENHOS DO PROJETO**



ALTERNATIVAS DE ARRANJO  
1:7.500



QUADRO RESUMO DAS ALTERNATIVAS							
ALTERNATIVA	Níveis de água (m)		Queda bruta (m)	Potência Instalada (MW)	Energia média (MWméd)	Energia média (MWh/ano)	Perda de Receita Bruta (R\$/ano @ R\$ 200/MWh)
	montante	jusante					
01 (inventário)	230.00	137.50	92.50	3.00	1.62	14,194	R\$ -
02	219.00	137.50	81.50	3.00	1.49	13,025	R\$ 233,700.00
03	215.00	137.50	77.50	3.00	1.43	12,557	R\$ 327,400.00

EMPREENDIMENTO:  
CGH MARTINS

Revisão:  
00/00

Responsável Técnico:

Título:  
ALTERNATIVAS DE ARRANJO  
CGH MARTINS

Assunto:

Aprovado:

ENG. DANIEL TJÄDER MARTINS

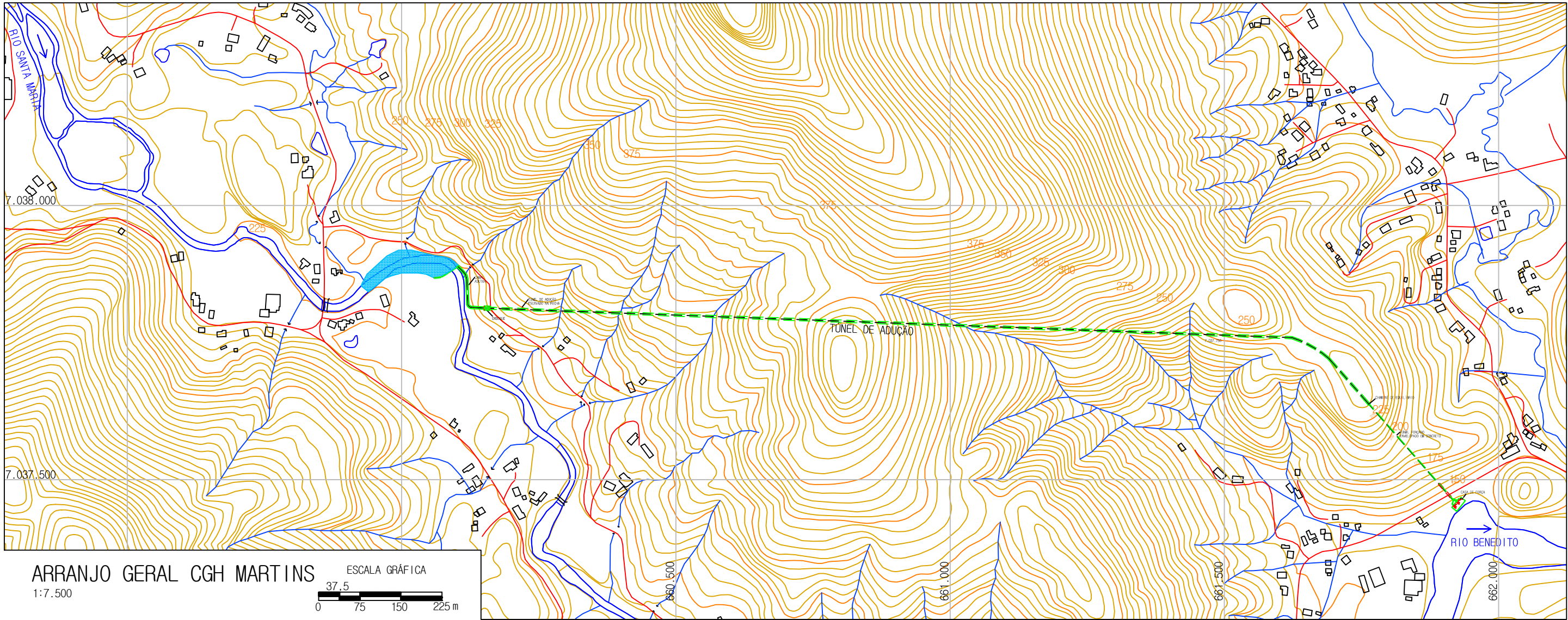
Data:  
Nov. 2015

Escala:  
Indicada

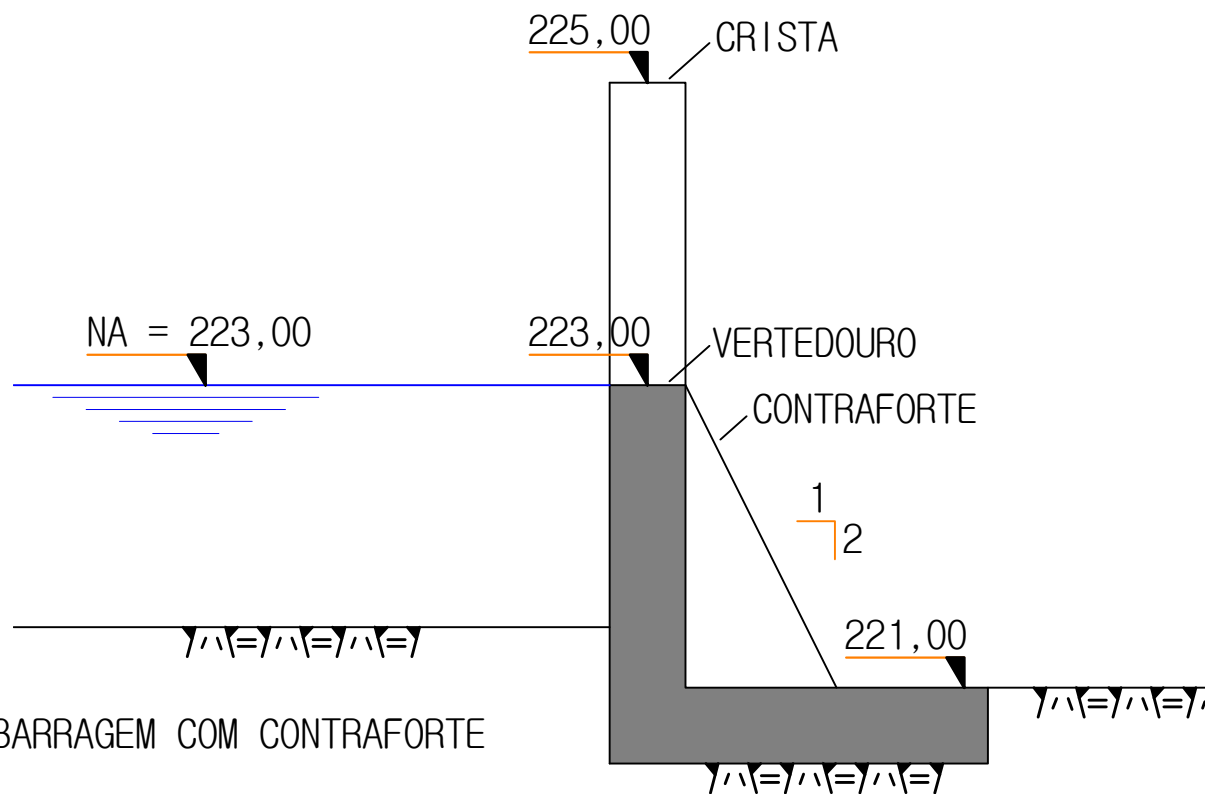
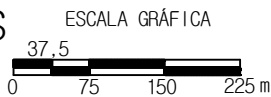
Desenho:  
TCC-001

Cliente:





ARRANJO GERAL CGH MARTINS  
1:7.500



DETALHE DA BARRAGEM COM CONTRAFORTE  
1:50

EMPREENDIMENTO:  
CGH MARTINS

Revisão:  
00/00  
Aprovado:  
Data:

Responsável Técnico:  
ENG. DANIEL TJÄDER MARTINS

Título:  
ARRANJO GERAL CGH MARTINS  
PERFIL BARRAMENTO E TÚNEL

Data:  
Nov. 2015

Escala:  
Indicada

Desenho:  
TCC-002